This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Phys
WIDENER
HN YGCA Q

Sammlung Göschen

Geschichte der Physik

II

Die Physik von Newton bis zur Gegenwart

Von

Prof. A. Kistner

Mit 3 Figuren

Phys 20.18

Harvard College Library

BOUGHT WITH THE INCOME

FROM THE BEQUEST OF

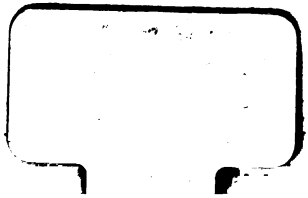
PROF. JOHN FARRAR, LL.D.

AND HIS WIDOW

ELIZA FARRAR

FOR

"BOOKS IN THE DEPARTMENT OF MATHEMATICS, ASTRONOMY, AND NATURAL PHILOSOPHY"



53 6

Digitized by Google

Bibliothek zur Physik

aus der Sammlung Göschen.

Jedes Bändchen eleg. in Leinwand gebunden 80 Pfennig.

Geschichte der Physik von A. Kistner, Professor an der Großherzoglichen Realschule zu Sinsheim a. E. I: Die Physik bis Newton. Mit 13 Figuren. Nr. 293.

Dasselbe. II: Die Physik von Newton bis zur Gegenwart. Mit 3 Figuren. Nr. 294.

Theoretische Physik. Von Dr. Gustav Jäger, Professor an der Technischen Hochschule in Wien. I: Mechanik und Akustik. Mit 19 Abbildungen. Nr. 76.

Dasselbe. II: Licht und Wärme. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.

Dasselbe. III: Elektrizität und Magnetismus. Mit 33 Abbildungen. Nr. 78.

Dasselbe. IV: Elektromagnetische Lichttheorie und Elektronik. Mit 21 Abbildungen. Nr. 374.

Radioaktivität von Wilh. Frommel. Mit 18 Figuren. Nr. 317.

Physikalische Messungsmethoden von Dr. Wilhelm Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 49 Figuren. Nr. 301.

Physikalische Aufgabensammlung von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Mit den Resultaten. Nr. 243.

Physikalische Formelsammlung von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Nr. 136.

Physikalisch-Chemische Rechenaufgaben von Professor Dr. R. Abegg und Privatdoz. Dr. O. Sackur, beide an der Universität Breslau. Nr. 445.

Vektoranalysis von Dr. Siegfr. Valentiner, Privatdozent für Physik an der Universität Berlin. Mit 11 Figuren Nr. 354.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Digitized by Google

Digitized by Google

Sammlung Göschen

Geschichte der Physik

II

Die Physik von Newton bis zur Gegenwart

Von

A. Kistner

Professor an der Großh. Realschule zu Sinsheim a. E.

Mit 3 Figuren

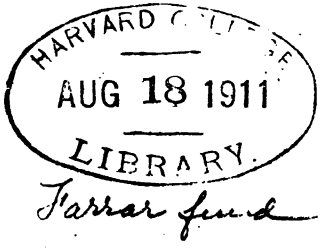
Leipzig

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung

1906

Digitized by Google

Phys 20.18



Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht,
von der Verlagshandlung vorbehalten.

Spamersche Buchdruckerei in Leipzig-R.

Digitized by Google

Inhalt.

	Seite
Literatur	4
Einleitung	5
I. Das achtzehnte Jahrhundert	5
Die Mechanik	5
Die Akustik	13
Die Wärmelehre	15
Die Optik	26
Der Magnetismus	29
Die Elektrizität im 18. Jahrhundert	32
II. Das neunzehnte Jahrhundert	46
Die Mechanik	46
Die Akustik	55
Die Wärmelehre	60
Die Optik	71
Die Elektrizitätslehre	82
Namenregister	124
Sachregister	128

Digitized by Google

Literatur.

Gerland, Geschichte der Physik. Leipzig 1892.

Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig 1899. (Behandelt die Entwicklung der physikalischen Apparate bis etwa 1850.)

Heller, Geschichte der Physik. 2 Bde. Stuttgart 1882—84. (Gibt eine gute, aber nicht übersichtliche Darstellung bis Robert Mayer.)

Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879.

Rosenberger, Geschichte der Physik in Grundzügen. 3 Bde. in 2. Braunschweig 1882—90.

Dühring, Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik. Berlin 1873.

Hoppe, Geschichte der Elektrizität. Leipzig 1884.

Mach, Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. Prag 1872.

Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt. Leipzig 1883.

Mach, Die Prinzipien der Wärmelehre historisch-kritisch entwickelt. Leipzig 1896.

Rosenberger, Die moderne Entwicklung der elektrischen Prinzipien. Leipzig 1898.

Wichtige Originalabhandlungen, neu herausgegeben oder übersetzt, meist gekürzt, bietet die Sammlung:

Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Leipzig.

Die ersten Veröffentlichungen finden sich meist in folgenden Fachzeitschriften:

Grens Journal der Physik. 1790—94.

Grens neues Journal der Physik. 1795—98.

Gilberts Annalen der Physik und Chemie. 1799—1824.

Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie. 1824—76.

Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie (mit Beiblättern). Seit 1877.

Die Fortschritte der Physik, dargestellt von der physikalischen Gesellschaft in Berlin. Seit 1845.

Annales de chimie et de physique. Seit 1789.

Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. Seit 1835.

Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Seit 1665.

Proceedings of the Royal Society. Seit 1849.

Digitized by Google

Einleitung.

Die Physik nach Newton erhält durch die mächtige um die Mitte des achtzehnten Jahrhunderts einsetzende Entwicklung der Elektrizitätslehre ein äußerst charakteristisches Gepräge. Das neue Gebiet konnte mit der reichen Fülle seiner seltsamen und verschiedenartigen Erscheinungen jedem, auch dem weniger hervorragenden Physiker die Möglichkeit zu interessanten und wichtigen Versuchen und Entdeckungen gewähren. An der Schwelle des neunzehnten Jahrhunderts erfolgte die Entdeckung des Galvanismus, der in seiner weiteren Ausgestaltung die ältere Elektrizitätslehre in wenigen Jahrzehnten gewaltig überflügelte und auf die übrigen Teile der Physik befruchtend einwirkte.

Wenn es auch stets mißlich ist, die Entwicklungsgeschichte geistiger Errungenschaften nach Jahrhunderten abzuteilen, so läßt sich dies noch am ehesten für die Elektrizitätslehre rechtfertigen, weshalb wir auch davon Gebrauch machen wollen. Aus Zweckmäßigkeitsgründen erweitern wir diese Säkulareinteilung für das ganze Gebiet der Physik, die wir dem Brauche der meisten Hochschulvorlesungen und Lehrbücher folgend nach den einzelnen Disziplinen behandeln, obwohl die Grenzen zwischen diesen nicht scharf sind.

Das achtzehnte Jahrhundert.

Die Mechanik.

Im achtzehnten Jahrhundert erfuhr die Mechanik eine charakteristische Umgestaltung durch das Bestreben, ihre Probleme rein analytisch zu behandeln und allgemein

Digitized by Google

gültige Prinzipien aufzustellen. Die günstige Entwicklung der von Leibniz und Newton erfundenen Differential- und Integralrechnung[1]) trug außerordentlich zum raschen Emporblühen dieses Zweiges der theoretischen Physik bei. Andererseits regte aber auch die eigenartige Betrachtungsweise der analytischen Mechanik zu neuen, meist sehr schwierigen mathematischen Untersuchungen an, die schließlich so in den Vordergrund traten, daß das eigentliche physikalische Interesse fast völlig dahinter verschwinden mußte. In den meisten Fällen handelt es sich sogar um Probleme, die für gar keine Naturerscheinung praktisch verwendbar sind. Man pflegt daher heutzutage die analytische Mechanik als ein Gebiet der Mathematik anzusehen, so daß ihre Entwicklungsgeschichte außerhalb des Rahmens unserer Betrachtungen fällt und füglich von uns übergangen werden darf. Einschlägige Schriften sind im Literaturverzeichnis angeführt.

Als Richer die Veränderlichkeit der Sekundenpendellänge für verschiedene geographische Breiten erwiesen hatte (1673), glaubten seine Gegner, diese durch einen Einfluß der Wärme erklären zu müssen. Unter einem heißeren Himmelsstrich dehnt sich, wie bei uns im Sommer, die metallene Pendelstange aus, was eine Verlängerung der Schwingungsdauer, d. h. ein „Nachgehen der Uhr" hervorruft und eine Verschiebung der Pendellinse nach aufwärts notwendig macht. Im bürgerlichen Leben ist eine derartige Regulierung der Pendeluhr schon unangenehm, aber noch nicht so störend wie bei Zeitmessern für astronomische Zwecke. Der Uhrmacher und Mechaniker George Graham (1675—1751) suchte diesem Übelstand durch hölzerne Pendelstangen abzuhelfen (1715), ohne jedoch dadurch befriedigt zu werden. Im Jahre 1721 ersann er die Kompensation durch Quecksilber, das, in ein Gefäß eingeschlossen, die Pendelmasse bildet. Durch die Wärme dehnen sich Quecksilber und Pendelstange aus, aber in entgegengesetzten Richtungen. Die Einrichtung ist so

[1]) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 226, S. 122.

Digitized by Google

getroffen, daß der Schwerpunkt des Systems seine Lage nicht ändert. Graham hatte sich auch, aber ohne eigentlichen Erfolg, mit der Idee des „Rostpendels" befaßt, doch gelang es erst (1725) John Harrison (1693—1776), eine brauchbare Konstruktion zu ersinnen. Auch den störenden Temperatureinfluß auf tragbare Uhren konnte Harrison beseitigen, indem er die Unruhe aus zwei verschiedenen Metallstreifen verfertigte. Überhaupt brachte er seine Instrumente auf eine hohe Stufe der Vollendung. Im Jahre 1713 hatte das englische Parlament Preise von 20 000, 15 000 und 10 000 Pfund ausgesetzt für die Erfindung einer Methode, um eine geographische Länge auf dem Meere bis auf $\frac{1}{2}^0$, $\frac{2}{3}^0$ und 1^0 zu ermitteln. Neben den Mathematikern und Astronomen, die sich der Aufgabe zuwandten, kommt besonders Harrison in Betracht. Im Jahre 1758 erhielt er für eine Uhr, die bei einer Fahrt nach Jamaika in 161 Tagen nur einen Fehler von 65 Sekunden gab, eine Prämie von 5000 Pfund. Er vervollkommnete die Uhr so, daß sie 1764 bei einer Fahrt nach Amerika in 156 Tagen nur noch um 54 Sekunden differierte. Das Parlament erkannte ihm dann 10 000 Pfund zu.

Die Beobachtung Richers hatte einen eigentümlichen Streit der Meinungen erzeugt. Wer sie durch einen Temperatureinfluß zu erklären suchte, wie die Pariser Akademie, brauchte an der Kugelgestalt der Erde nicht zu zweifeln. Wer aber von der Zunahme der Schwere vom Äquator gegen die Pole hin überzeugt war, mußte, wie Huygens und Newton, die Erde als ein an den Polen abgeplattetes Rotationsellipsoid ansehen. Man stand also bezüglich der Erdgestalt vor der Frage: „Kugelförmig oder abgeplattet?" Man war deshalb äußerst erstaunt, als die Gradmessung durch Cassini (1625 bis 1712) und La Hire (1640—1718) während der Jahre 1683—1718 die Antwort „Zugespitzt" lieferte. Es ergab sich nämlich das seltsame Resultat, daß die Gradlängen von dem Pole gegen den Äquator hin eine Zunahme zeigten, woraus allerdings zu folgern ist, daß die Erde ein an den Polen verlängertes Rotationsellipsoid ist. Den dadurch geweckten Streit zwischen den englischen und französischen Gelehrten suchten diese durch eine neue Gradmessung in zwei verschiedenen Gegenden der Erde zu entscheiden. La Condamine (1701—74) und Bouguer (1698—58) führten (1735 bis 1742) in Peru, ferner Maupertuis (1698—1759) und

Digitized by Google

Clairaut (1713—65) in Lappland Messungen aus, die den unwiderleglichen Beweis für die Ansicht von Newton und Huygens lieferten [1]).

Die zweite große französische Gradmessung sollte einem mehr praktischen Bedürfnis dienen, nämlich der Schaffung einer allgemeinen der Natur entnommenen Längenmaßeinheit. An entsprechenden Vorschlägen hatte es schon früher nicht gefehlt; wir erinnern nur an Huygens. Am 8. Mai 1790 entschloß sich die Nationalversammlung, als Einheit die Länge eines Sekundenpendels unter 45° geographischer Breite zu wählen, einigte sich aber am 30. März 1791 auf den vierzigmillionten Teil eines Meridians. Den erforderlichen Bogen maßen 1792 und in den folgenden Jahren Méchain (1744 bis 1804) und Delambre (1749—1822) zwischen Dünkirchen und Barcelona. Durch ein Gesetz vom 25. Juni 1800 wurde dann die neue Maßeinheit, „das Meter" eingeführt. Es hat aber nicht allzulange gedauert, bis man es als fehlerhaft erkannte. Man verzichtete aber darauf, eine mit der Natur besser übereinstimmende Einheit zu schaffen.

Anläßlich der peruanischen Gradmessung hatte Bouguer am Chimborasso eine Ablenkung des Lotes um 7 bis 8 Sekunden von der astronomisch bestimmten Vertikalen beobachtet. Diese Erscheinung war durch die Anziehung des Berges auf die Pendelmasse verursacht. Der Astronom Maskelyne (1732—1811) und der Mathematiker Hutton (1737 bis 1823) gründeten darauf eine interessante Bestimmung der Dichte und Masse der Erde.

An zwei Stationen nördlich und südlich von dem Shehallien in Schottland mit einer Breitendifferenz von 42,94 Sekunden wurde auf astronomischem Wege eine Polhöhendifferenz von 54,6 Sekunden ermittelt. Der Unterschied von 11,6 Sekunden kam durch eine Veränderung der Horizontalen, die von den Ablenkungen des Lotes durch den Shehallien bedingt war. Die geometrische einfache Form des Berges und seine ermittelte Dichte gestattete dann, die Erddichte zu berechnen. Als wahrscheinlichsten Wert ergaben die Messungen (1774—76) die Zahl 4,93.

Ein anderes Verfahren zur Bestimmung der Erddichte gab Henry Cavendish (1731—1810) an. Er benutzte (1798) zu

[1]) Über Gradmessungen siehe Sammlung Göschen Nr. 92, Kap. X.

Digitized by Google

seinen Messungen die Drehwage, die man gewöhnlich Coulomb (1736—1806) zuschreibt, die aber tatsächlich 1768 von dem 1793 verstorbenen englischen Pfarrer John Michell ausgedacht worden ist. Der Apparat Cavendishs bestand aus einem leichten in der Mitte an einem feinen Draht hängenden Holzstab, der an jedem Ende eine kleine Metallkugel trug. Durch Annäherung großer Bleiklötze erzielte man eine meßbare Anziehung. Der von Cavendish gefundene Wert für die Erddichte ist 5,48. Der Versuch ist auch dadurch von Interesse, daß er erstmalig die Anziehung zweier Massen demonstrierte.

Von mehr technischer als rein wissenschaftlicher Bedeutung lieferte das 18. Jahrhundert Untersuchungen über die Größe des Luftwiderstandes, der Reibung auf Straßen, der Arbeitsleistungen von Menschen und Tieren usw. Diesbezügliche Apparate sind z. B. das ballistische Pendel (1745) von Benjamin Robins (1707—51) und das Federdynamometer (1798) von Regnier (1751—1825).

Für die Theorie der Reibung gab Amontons (1663—1705) zu Paris wichtige Aufschlüsse. Er lieferte nämlich an der Schwelle des 18. Jahrhunderts den Beweis, daß die Größe der Reibung nur vom Druck auf die Berührungsfläche, aber keineswegs von deren Größe abhängt. Er demonstrierte dies, ähnlich wie man es heute noch tut, an einem rechteckigen Parallelepiped, das, auf drei verschiedene Seitenflächen gelegt, dieselbe Kraft zur Fortbewegung benötigt. Von Leibniz (1646—1716) wurde zuerst auf den Unterschied zwischen gleitender und rollender Reibung aufmerksam gemacht.

In der Technik macht man von beiden Arten der Reibung ungemein häufig Gebrauch, aber auch bei wichtigen physikalischen Demonstrationsapparaten, z. B. bei der von Atwood (1745—1807) angegebenen Fallmaschine (Friktionsrollen), mit der sich die Gesetze des freien Falls, überhaupt der gleichmäßig beschleunigten Bewegung leicht experimentell nachweisen lassen.

Groß ist auch die Zahl der Automaten und ähnlicher Apparate, die im 18. Jahrhundert entstanden. Wirkliche Kunstwerke schuf z. B. de Vaucanson (1709—82), während der ungarische Hofrat von Kempelen (1734—1804), von dem auch eine Sprechmaschine (1791) stammt, bei der Konstruktion einer schachspielenden Figur sich eine kleine Be-

Digitized by Google

trügerei gestattete. Man nahm es darin aber nicht sehr genau. So entstand mancher Mechanismus, der ein „Perpetuum mobile" sein sollte und auf einen mehr oder weniger deutlichen Schwindel hinauslief. Die Weigerung der Pariser Akademie (1775), sich mit der Beurteilung solcher Vorrichtungen abzugeben, war ohne Einfluß.

Alle derartigen Apparate basieren auf dem berechtigten Wunsche, die Kräfte der Natur möglichst zweckmäßig auszunutzen. An Stelle der üblichen Mühlräder ersann (1750) Segner (1704—77) in Göttingen das nach ihm benannte Wasserrad, nachdem Daniel Bernoulli (1700—82) die diesbezüglichen Gesetze aufgestellt hatte. Segners Maschine wurde 1750 erstmalig bei einer Getreidemühle in Nörten bei Göttingen benutzt. Der Name „Turbine" stammt übrigens nicht von Segner, sondern von dem französischen Ingenieur Burdin, der damit ein von ihm im Jahre 1824 ersonnenes Wasserrad bezeichnete.

Die durch Segner verwertete Reaktion strömenden Wassers kam auch bei dem sog. Stoßheber oder „hydraulischen Widder" zur Verwendung, den der Papierfabrikant Joseph Michel Montgolfier (1740—1810) im Jahre 1796 zum Heben von Wasser konstruierte. Am bekanntesten ist Montgolfier und sein jüngerer Bruder Jacques Étienne Montgolfier (1745—99) durch den ersten Luftballon geworden, zu dessen Geschichte wir etwas zurückgreifen müssen.

Der Jesuit Francesco Lana (1631—87) hatte 1670 den Vorschlag gemacht, sich durch luftleere Kugeln in die Luft zu heben. Sie sollten 7½ Meter Durchmesser und etwa ⅛ Millimeter Wandstärke besitzen. Da sie 285 kg Luft verdrängen und selbst nur 180 kg wiegen, könnte man tatsächlich einen Auftrieb von 100 kg erzielen. Von einer Ausführbarkeit kann natürlich keine Rede sein, da die papierdünnen Wände den ungeheuren Luftdruck von über anderthalb Millionen Kilogramm nicht aushalten können.

Die Beobachtung, daß heiße Luft leichter ist als kalte und dadurch in die Höhe steigt, regte zu weiteren Versuchen an. Den ersten Aufstieg mit einem Heißluftballon unternahm der Pater de Gusman (1685—1724) am 8. August 1709 in Lissabon. Der Ballon ging durch einen Stoß an ein Haus zugrunde, so daß sich die Inquisition genötigt sah, weitere Versuche zu verbieten.

Digitized by Google

Die Gebrüder Montgolfier stellten zunächst Experimente mit Papierbehältern an, die unten eine Öffnung hatten, durch welche man den Ballon mit Rauch von Papier und feuchtem Stroh füllen konnte. Die Behälter stiegen wirklich in die Höhe. Am 5. Juni 1783 ließen die Brüder zu Annonay den ersten mit heißer Luft gefüllten Luftballon — eine sog. Montgolfiere — aufsteigen. Sie war aus Leinwand gefertigt, hatte 12 m Durchmesser und konnte außer ihrem eigenen Gewicht von 219 kg noch weitere 200 kg tragen. Angeregt durch den guten Erfolg, unternahm auch der Physiker Charles (1746—1823) in Paris den Bau eines Ballons. Zur Füllung benutzte er das Wasserstoffgas, das wegen seines geringen spezifischen Gewichts — $^1/_{14}$ auf Luft bezogen — ganz besonders geeignet erschien. Henry Cavendish hatte es (1766) entdeckt, Black (1728—99) schon 1768 die Möglichkeit erkannt, leichte Gefäße damit aufsteigen lassen zu können; 1782 hatte Cavallo (1749—1809) dies auch an Seifenblasen gezeigt. Nachdem es Charles gelungen war, Taffet so zu imprägnieren, daß er für Wasserstoffgas undurchlässig wurde, füllte er einen daraus gefertigten Ballon von etwa 4 m Durchmesser mit diesem Gase und ließ ihn am 27. August 1783 auf dem Marsfelde steigen. Nach drei Viertelstunden kam er bei Gonesse (in der Nähe von Le Bourget) wieder auf den Boden zum großen Schrecken der Bauern, die mit Dreschflegeln und Mistgabeln dem vom Himmel gefallenen Ungetüm den Garaus machten, so daß Charles nur noch jämmerliche Fetzen vorfand.

Der erste Aufstieg von Menschen erfolgte noch im gleichen Jahre am 21. Oktober 1783 in einer Montgo'fiere. Pilâtre de Rozier (1756—85) hatte die Anregung gegeben, der König verweigerte aber die Erlaubnis, versprach jedoch, zwei zum Tode verurteilte Verbrecher zu begnadigen, wenn sie sich zu dem waghalsigen Experiment hergeben wollten. Er

nahm jedoch davon Abstand, als sich der einflußreiche Marquis d'Arlande erbot, die Luftreise mit Pilâtre de Rozier auszuführen. Der Versuch glückte, die beiden Luftschiffer kamen nach 25 Minuten wieder wohlbehalten auf dem Boden an. Auch Charles unternahm eine Auffahrt am 1. Dezember 1783 in einem Wasserstoffballon, einer sog. Charliere. Das erste Opfer der Luftschiffahrt war Pilâtre de Rozier selbst (13. Juni 1785), als er eine Fahrt über den Ärmelkanal unternehmen wollte mit einer Charliere, die durch ein untergesetztes Feuer wie eine Montgolfiere erhitzt wurde. Die Folgezeit gebrauchte nur noch gewöhnliche Wasserstoffballons.

Das Prinzip des Fallschirms hatte schon Leonardo da Vinci im Jahre 1480 angegeben. Lenormand zeigte (26. November 1783), daß man mit zwei aufgespannten Regenschirmen aus dem ersten Stockwerk eines Hauses springen könne, ohne sich zu verletzen. Am 22. Oktober 1797 gelang es dem Luftschiffer Garnerin, sich, ohne Schaden zu erleiden, aus einem Ballon mit einem Fallschirm herabzustürzen.

Ballonfahrten zu wissenschaftlichen Zwecken kamen erst mit dem Beginne des 19. Jahrhunderts auf. Man verfügte eben noch nicht über Beobachtungsinstrumente, die auch in dem schwankenden Korbe gebraucht werden konnten; man denke nur an das Barometer, das mit seiner Quecksilberfüllung ganz ungeeignet war. Seine äußere Form war zwar mehrfach, aber nicht nachhaltig verändert worden. So hatte z. B. Amontons 1688 das „abgekürzte" und 1695 das „konische Barometer" angegeben. Beide waren gut ausgedacht, aber stark fehlerhaft, wie alle derartigen Instrumente jener Zeit, da man die Notwendigkeit des Auskochens noch nicht erkannt hatte.

Eine seltsame Erscheinung, über deren wahre Natur man lange im Zweifel war, wurde der Anlaß zu dieser wichtigen Verbesserung der Barometer. Picard (1620—82) hatte nämlich (1675) zuerst das Leuchten der Torricellischen Leere beim Schaukeln des Barometers wahrgenommen. Man glaubte, es trete bei ausgekochten Instrumenten besonders leicht auf. Bei einschlägigen Untersuchungen erkannte Deluc (1727 bis 1817), daß sonst schlecht übereinstimmende Barometer durch Auskochen weit eher dieselben Angaben lieferten, und daß auch die Korrekturen für die Wärmeausdehnung, worauf Amontons hingewiesen hatte, leichter zu erreichen waren.

Digitized by Google

Um eine genaue Ablesung der Quecksilberkuppe im Barometer zu ermöglichen, gab Stephen Gray (1670?—1736) im Jahre 1698 das erste Kathetometer an, das aber ein Mikroskop besaß, während unsere Instrumente mit Fernrohr erst 1817 durch Dulong (1785—1838) und Petit (1791—1820) aufkamen.

Eines eigenartigen Apparates zum Ermitteln von Höhenunterschieden, des sog. Thermobarometers, werden wir bei der Geschichte der Wärmelehre (Seite 21) gedenken. Es stammt von Fahrenheit (1686—1736), den wir hier als Verbesserer des damals üblichen Gewichtsaräometers von de Roberval (1602—75) zu erwähnen haben. Dieses Instrument bestand aus einer durch Quecksilber beschwerten Glaskugel mit aufgesetztem Kegel, der so mit ringförmigen Gewichten belastet wurde, daß der ganze Körper in der zu untersuchenden Flüssigkeit bis zur Spitze des Kegels einsank. Der Apparat war aber sehr ungenau, da die Gewichte selbst Flüssigkeit verdrängten. Fahrenheit vermied diesen Übelstand, indem er dem Schwimmkörper einen Stiel gab, der über der Flüssigkeit eine kleine Schale trug, die mit Gewichten derart belastet wurde, daß das Aräometer bis zu einer Marke am Stiel einsank.

Um das Instrument auch zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes fester Körper gebrauchen zu können, gestaltete es Nicholson (1753—1815) zu der nach ihm benannten Senkwage (1787) um. Natürlich läßt sie sich auch wie das Instrument von Fahrenheit verwenden, den wir noch als Verfertiger des ersten Pyknometers zu nennen haben.

Die Akustik.

Unter allen physikalischen Disziplinen hat im achtzehnten Jahrhundert entschieden die Lehre vom Schall die geringsten Fortschritte gemacht, soweit es sich wenigstens um experimentelle Durchforschung handelt. In den Jahren 1700—1703 publizierte besonders der Mathematiker Sauveur (1653—1716) interessante Arbeiten über „musikalische Akustik". Er hatte als erster „Stöße" oder „Schwebungen" an Orgelpfeifen verschiedener Ton-

Digitized by Google

höhe wahrgenommen. Bei zwei um einen halben Ton verschiedenen Pfeifen hörte er sechs Stöße in der Sekunde. Die eine Schwingungszahl mußte also um sechs größer sein als die andere. Da ihr Verhältnis 15 : 16 war, ergaben sich für die eine Pfeife 90, für die andere aber 96 Schwingungen in einer Sekunde. Indem Sauveur die Intervalle aller übrigen Töne zu Hilfe nahm, gelang es ihm mit Leichtigkeit, für alle Töne die entsprechenden Schwingungszahlen zu berechnen.

Folgen die Stöße sehr schnell aufeinander, so entstehen die sogenannten Kombinationstöne, die zuerst (1714) von dem Violinvirtuosen Giuseppe Tartini (1692—1770) in Ancona gehört wurden. Bevor er aber diese Entdeckung in seinem „Trattato di musica" (1754) publizierte, machte sie auch unabhängig von ihm der Organist Georg Andreas Sorge (1703—78) und wies (1740) in seinem „Vorgemach der musikalischen Komposition" darauf hin.

Genauere Untersuchungen über Obertöne stellten die Kapläne William Noble († 1681 zu Oxford) und Thomas Pigott († 1686 zu Westminster) an. Sie spannten zwei Saiten nebeneinander, die Grundton und Oktave oder Quinte der Oktave oder die Doppeloktave gaben. Versetzte man dann die eine Saite in Schwingungen, so gab die andere den gleichen Ton und schwang in zwei, drei oder vier Teilen.

Sauveur hatte eine Methode angegeben, um experimentell die Schwingungszahl einer Saite zu ermitteln. Die Berechnung derselben Größe wurde 1715 durch die von Taylor (1685—1731) aufgestellte bekannte Formel ermöglicht.

Eine eigentlich experimentell forschende Akustik haben wir erst durch unseren Landsmann Chladni (1756—1827), der am bekanntesten durch die von ihm 1787 entdeckten Klangfiguren geworden ist. Mit diesen beschreibt Chladni (1787) gleichzeitig die von ihm entdeckten Töne, die entstehen, wenn man eine Saite der Länge nach reibt. Er nennt sie „Longitudinaltöne", die gewöhnlichen im Gegensatz dazu „Transversaltöne". Indem Chladni aus der

Digitized by Google

Länge eines longitudinal schwingenden Stabes die Wellenlänge und aus der Höhe des Longitudinaltons die Schwingungszahl ermittelte, gelang es ihm, recht brauchbare Werte für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in festen Körpern zu erhalten (1797).

Recht interessant, wenn auch nicht sonderlich genau, war die Methode, nach der Chladni für verschiedene Gase die Schallgeschwindigkeit maß. Er ließ nämlich eine offene Orgelpfeife aus Zinn durch die bekanntesten Gase anblasen und schloß dann aus der jeweiligen Tonhöhe auf die Geschwindigkeit des Schalles. Er fand sie am größten für Wasserstoff und am kleinsten für Kohlensäure, entsprechend der Newtonschen Formel.

Einen Einfluß der Temperatur auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles suchte der Arzt Giovanni Bianconi (1717—81) zu Bologna (1746) festzustellen. Er maß die Zeit zwischen Blitz und Knall einer 30 Miglien entfernten Kanone durch Pendelschwingungen, deren er im Sommer (bei 35° C) 76, im Winter (bei — 1,5° C) aber 79 zählte. Die Schallgeschwindigkeit ist also im Sommer größer als im Winter.

Die Wärmelehre.

Das achtzehnte Jahrhundert ist in der Geschichte der Wärmelehre besonders durch die Erfindung der Dampfmaschine ausgezeichnet, die im Prinzip auf den Franzosen Denis Papin (1647—1712) zurückgeht. Seit 1672 war er Gehilfe bei Huygens, verließ aber 1680 als Calvinist sein Heimatland und war von 1688 Professor zu Marburg. Er machte die Entdeckung, daß der Siedepunkt einer Flüssigkeit vom Druck abhängt, daß man also bei geringerem Druck weniger Erwärmung braucht und ebenso durch Vergrößerung des Drucks den Siedepunkt weiter hinaufschieben kann. 1681 gab er den nach ihm benannten Dampfkochtopf („Digestor") an, der

Digitized by Google

aber erst in unserer Zeit allmählich Eingang in die Küchen findet. Man kann mit ihm Speisen viel vollständiger kochen als in offenen Töpfen. Der erste Gedanke Papins, man könne vielleicht damit Knochen in ein brauchbares Nahrungsmittel verwandeln, ist zu schön, als daß er möglich wäre. Um die Gefahr des Zerspringens zu beseitigen, brachte Papin das erste aus einem einarmigen Druckhebel bestehende Sicherheitsventil an. Bei unseren feststehenden Dampfkesseln verwenden wir heute noch die gleiche Einrichtung, bei Lokomotiven usw. wird das Ventil meistens durch Federn statt durch ein Gewicht angedrückt.

Durch Huygens' Schießpulvermaschine angeregt, ersann Papin (1690) die erste höchst primitive Dampfmaschine. Ein Kolben konnte sich luftdicht in einem Eisenzylinder, der ein wenig Wasser enthielt, auf und ab bewegen. Der beim Erhitzen auf einem Kohlenfeuer gebildete Wasserdampf hob den Kolben bis an das obere Zylinderende, wo man ihn durch einen Riegel festhielt. Hierauf nahm man den Zylinder von dem Feuer, befestigte die Kolbenstange an dem zu treibenden Apparat und löste den Sperriegel: der Luftdruck trieb dann den Kolben abwärts. Nur bei dieser Bewegung leistete diese Dampfmaschine eine verwendbare Arbeit.

Es ist sehr fraglich, ob diese Vorrichtung wohl überhaupt einmal praktisch erprobt worden ist. Im Jahre 1689 ließ sich der Bergwerksbesitzer Thomas Savery (1650?—1716) eine Dampfmaschine zur Entfernung von Grubenwässern patentieren. Er erzählt, er habe einst eine Flasche, in der ein wenig Wein durch die Wärme eines Ofens verdampft war, mit der Öffnung in Wasser getaucht, das dann mit großer Gewalt die Flasche angefüllt habe. Bei Saverys Maschine wird ein Zylinder mit Dampf gefüllt und hierauf durch Begießen mit Wasser abgekühlt. Durch die Kondensation des Dampfes steigt dann in einem mit dem Zylinder verbundenen

Digitized by Google

Saugrohr das Grubenwasser durch den Druck der Atmosphäre in die Höhe und wird bei der nächsten Füllung des Zylinders mit Dampf in ein Steigrohr gepreßt.

Im Jahre 1705 erhielt Papin von Leibniz (1646 bis 1716), mit dem er seit 13 Jahren korrespondierte, eine

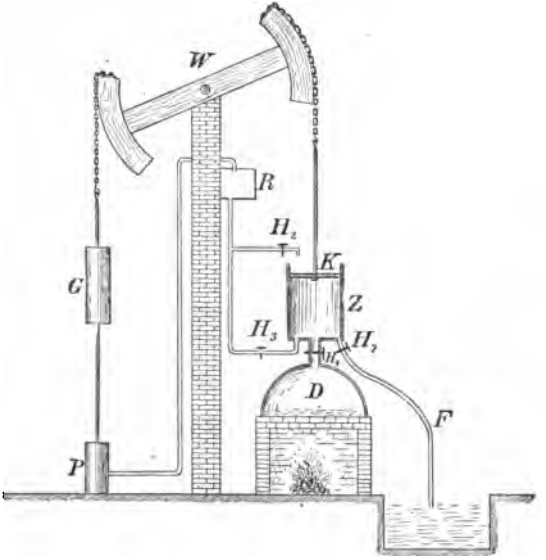


Fig. 1. Dampfmaschine nach Newcomen.

Skizze dieser Vorrichtung und baute 1706 die erste Hochdruckmaschine, die aber so umständlich konstruiert war, daß sie keine Konkurrenz mit derjenigen Dampfmaschine aushalten konnte, für welche der Eisenhändler Thomas Newcomen und der Glaser John Cawley in Dartmouth sich 1705 ein Patent hatten geben lassen.

Digitized by Google

Wir wollen nur die Maschine von Newcomen beschreiben. Der im Kessel D (Figur 1) entwickelte Dampf tritt in den Zylinder Z und hebt, unterstützt durch das an der Wippe W hängende Gegengewicht G, den Kolben K in die Höhe. Nun schließt man den Hahn H_1 und läßt aus dem Behälter R durch H_2 etwas Wasser auf den Kolben fließen. Dadurch verdichtet sich der Dampf in Z und der Kolben K senkt sich durch den Luftdruck. Dann öffnet man wieder H_1 usw. Die Wippe überträgt die Kolbenbewegung auf die Pumpe P, die das Wasser aus dem Bergwerk herausschafft und zugleich R mit neuem Wasser versorgt. Als einst bei einer Undichtigkeit des Kolbens etwas Flüssigkeit in den Zylinder Z gelangte, arbeitete die Maschine bedeutend kräftiger. Statt Wasser auf den Kolben strömen zu lassen, ließ man deshalb in der Folgezeit jeweils durch den Hahn H_3 Wasser in den Zylinder eintreten, das den Dampf kondensierte und durch F wieder entfernt wurde. Das Drehen der Hähne wurde durch Knaben besorgt. Einem derselben, Humphrey Potter, erschien dies mit Recht zu langweilig, er verknüpfte daher die Hähne geschickt durch Bindfaden mit der Wippe, so daß keine weitere Bedienung nötig war, als sie nur der Dampfkessel erforderte (1712?).

Diese einseitig wirkende atmosphärische Maschine von Newcomen fand ganz besonders in Bergwerken Verwendung. Ihre leicht ersichtlichen Nachteile beseitigte der Mechaniker an der Universität Glasgow, James Watt (1736—1819), als er 1764 ein Modell der Maschine zur Instandsetzung erhielt. Seine einschlägigen Studien (1765) führten ihn zu einer ganz neuen, der Newcomschen kaum noch ähnlichen Maschine. Bei ihr wurde zunächst die Verdichtung des Dampfes nicht mehr durch das schädliche Einspritzen des Wassers, sondern durch einen kühlen

Digitized by Google

Raum, den sog. Kondensator, erzielt. Durch ein Schieberventil konnte der Dampf von beiden Seiten auf den Kolben drücken, wodurch die Maschine doppeltwirkend wurde. Die auf- und abwärtsgehende Bewegung der Kolbenstange wurde in geeigneter Weise in eine drehende verwandelt. Ein Schwungrad regulierte den Gang der Maschine und half ihr über die sog. toten Punkte hinweg. Durch das sog. Wattsche Parallelogramm konnte man die bei der Newcomenschen Maschine erforderlichen Ketten wegfallen lassen.

Wir können es uns hier versagen, die Maschine von Watt noch ausführlicher zu besprechen, da jedes Physikbuch hinreichende Angaben darüber darbietet. Als man nach und nach die ganz bedeutenden Vorteile der neuen Maschine richtig zu würdigen verstand, fand sie langsam Eingang in England und Frankreich, in Deutschland jedoch erst um die Jahrhundertwende.

Man findet häufig erzählt, bereits Papin habe 1707 ein Dampfboot gebaut und sei damit auf der Fulda von Kassel bis Münden gefahren. Zweifellos ist dies nur eine unbeweisbare Fabel. Im Jahre 1736 ließ sich der Engländer Hull ein Patent geben auf die Verwendung einer Newcomenschen Maschine für ein Radschiff, das aber nicht gebaut wurde. Ohne nachhaltigen Erfolg blieben die Versuche mit Dampfschiffen durch Périer (Seine) 1774, de Jouffroy (Saone) 1781, Miller (Firth of Forth), Fitch (Delaware) und Rumsey 1787.

Auch zur Fortbewegung auf dem Lande wurde die Dampfmaschine vorgeschlagen, z. B. von Robison, einem Freunde Watts (1759). 1769 und 1771 baute Cugnot zu Paris einen dreiräderigen Dampfstraßenwagen — das erste Automobil — und führte ihn dem Kriegsminister vor. Weitere Versuche machten Edgeworth 1770, Evans 1772, Watt 1784, Symington 1785 und endlich Murdoch 1792, von dem die Dampfmaschine mit oszillierendem Zylinder stammt (1785).

Neben diesen mehr technischen Errungenschaften wurde auch die wissenschaftliche Wärmelehre bedeutend

Digitized by Google

gefördert. Wir nennen zunächst den Pariser Akademiker Amontons (1663—1705), der 1703 das Luftthermometer erfand. Es bestand aus einer U-förmig gebogenen Glasröhre, an deren kürzerem Schenkel eine Kugel angeblasen war; in den langen Schenkel wurde so viel Quecksilber eingegossen, daß bei den verschiedenen Temperaturen die abgeschlossene Luft stets nur die Kugel erfüllte. Amontons beobachtete, zwar nicht zuerst, die Konstanz des Siedepunktes beim Wasser und machte davon Gebrauch, um einen Fixpunkt an seinem Luftthermometer festzulegen. Er fand mit seinem Instrument, daß bei konstanter Temperatur die Druckzunahme eines Gases der zugeführten Wärmemenge proportional ist. Wir pflegen dieses wichtige Gesetz statt nach Amontons fälschlich nach Gay-Lussac (1778—1850) zu nennen.

Amontons hatte, wie schon Baco von Verulam und Newton, die Anschauung, die Wärme bestehe in einer andauernd lebhaften Bewegung feiner Wärmeteilchen, die auch auf Körperteilchen übergehen könne; je höher die Temperatur, um so energischer die Geschwindigkeit und der dadurch erzeugte Druck. Bei dieser Annahme muß demnach ein Wärmegrad existieren, für den dieser Druck den Wert Null erreicht, wo also ein eingeschlossenes Gas keinen Druck mehr auf die Wände des Gefäßes ausübt. Amontons rechnete diesen „absoluten Nullpunkt“ aus; er fand ihn, auf die Zentesimalskala umgerechnet, bei $-239{,}5\,^{\circ}$, während wir ihn tiefer annehmen. Im Jahre 1687 ersann Amontons auch ein Hygroskop, das in der Hauptsache aus einem Beutel von Hammelleder besteht, der sich mit wachsender Feuchtigkeit ausdehnt, was durch einen Flüssigkeitsfaden angezeigt wird.

Was zu jener Zeit an Thermometern gebräuchlich war, litt unter dem Mangel einer eigentlichen Skala. Wirkliche Erfolge hatte erst Fahrenheit (1686—1736) aus Danzig, der ein äußerst geschickter Glasbläser war.

Bei seinen ersten Thermometern benutzte er Weingeist, später aber Quecksilber. Zum untersten Punkt seiner Skala nahm er die tiefste Temperatur des strengen Winters von 1709, die er durch eine bestimmte Kältemischung reproduzieren zu können glaubte. Als anderen Fixpunkt wählte er bald die Temperatur einer Eis-Wassermischung, bald die Körperwärme, bald den Siedepunkt des Wassers, der auf seiner letzten, heute teilweise noch üblichen Skala (1724) bei 212° liegt. Fahrenheit erkannte die Veränderlichkeit des Siedepunkts von Wasser durch den wechselnden Druck der Atmosphäre und machte den Vorschlag, die Größe des letzteren aus der jeweiligen Siedetemperatur zu bestimmen. Er konstruierte ein dazu geeignetes Thermobarometer. Der Arzt Wollaston (1766 bis 1828) hat später gezeigt, wie man dies Verfahren an Stelle der barometrischen Höhenmessung gebrauchen kann. Es ist nicht sehr bequem, da ein Unterschied von einem Millimeter im Barometerstand den Siedepunkt nur um 0,04° Celsius verschiebt.

1721 fand Fahrenheit die sog. Überkältung des Wassers, indem solches während einer sehr kalten Winternacht in einer Glaskugel nicht gefror, sondern erst, wenn man diese erschütterte.

Nach Fahrenheit machte die Thermometrie einen bedeutenden Rückschritt durch den Pariser Zoologen Antoine de Réaumur (1683—1757), der wieder Weingeist benutzte (1730). Er nahm den Gefrierpunkt des Wassers, der ja nicht konstant ist, als einen Fixpunkt, den Siedepunkt des Wassers als anderen, und teilte das Intervall in 80 Grade ein, weil er gefunden hatte, daß seine Weingeistfüllung (ein Gemisch von fünf Volumteilen Alkohol und einem Teil Wasser) sich zwischen den beiden Fixpunkten um 0,080 ausdehnte.

Digitized by Google

Der schwedische Astronom Celsius (1701—44) teilte 1742 das gleiche Intervall aus Zweckmäßigkeitsgründen in 100 Grade. Es wird behauptet, Celsius selbst habe an den Eispunkt 100° und an den Siedepunkt 0° geschrieben, unsere Bezeichnungsweise stamme von Strömer (1707—70). Erst durch die Bemühungen (1772) von Deluc (1727—1817) kehrte man wieder zum Quecksilber zurück, um Alkoholthermometer nur da zu verwenden, wo es wegen bedeutender Kältegrade geboten schien.

Charles Cavendish (1703—83), der Vater des bekannten Chemikers, erfand 1757 ein Maximum- und ein Minimumthermometer. James Six († 1793) vereinigte 1782 beide zu dem noch heute seinen Namen tragenden Thermometrographen, der ebenso wie das Maximum-Minimumthermometer des Arztes und Botanikers Rutherford in Edinburg (1749 bis 1819) vielfach in Gebrauch ist.

Im 18. Jahrhundert begegnen wir mit dem wachsenden Interesse an meteorologischen Fragen auch mehreren Hygroskopen. Dasjenige von Amontons haben wir bereits angeführt. Etwas älter ist das Hafergrannenhygroskop, das sich schon in der Mikrographie von Hooke (1667) vorfindet. Von Lambert (1728—77) wurde das erste brauchbarere Instrument (1772) ersonnen. Wie schon bei dem Feuchtigkeitsmesser (1626) von Santorio (1561—1636), kam eine Darmsaite zur Verwendung. Seit 1781 verfertigte Deluc Hygroskope mit Fischbeinstreifen. Am bekanntesten dürfte wohl das Instrument von Horace Bénédict de Saussure (1740—99) sein, bei dem die hygroskopische Substanz ein entfettetes Menschenhaar ist (1783).

Der Unterschied zwischen dem Wärmegrad und der Wärmemenge eines Körpers, der sich am deutlichsten bei Schmelzversuchen oder beim Erhitzen verschiedener Substanzen auf eine bestimmte Temperatur offenbart, war von einigen Forschern schon beobachtet, aber nicht genauer erkannt worden. Der fast nur durch seinen Tod

Digitized by Google

(siehe Seite 42) bekannte russische Physiker Richmann (1711—53) hatte für die Temperatur t einer Mischung aus den Stoffmengen m_1 und m_2 von den Temperaturen t_1 und t_2 die Formel aufgestellt:

$$t = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{m_1 + m_2}.$$

Als aber der Chemiker und Arzt Black (1728—99) einst Wasser von $t_1 = 172^0$ F (Fahrenheit!) mit der gleichen Menge ($m_1 = m_2$) Eis von $t_2 = 32^0$ F zusammenbrachte, wurde alles Eis geschmolzen, die Temperatur blieb aber auf 32^0, während sie doch nach der Formel

$$t = \frac{m_1 \cdot 172 + m_1 \cdot 32}{m_1 + m_1} = \frac{204\, m_1}{2\, m_1},$$

also 102^0 hätte sein sollen. Diese und die Erscheinung, daß Eis während des Schmelzens seine Temperatur nicht ändert (Deluc 1754), führten zu dem Begriff der latenten (verborgenen) Wärme, der aus der Physik hinreichend bekannt ist. Wilke (1732—96) wies die Richtigkeit der Formel von Richmann für den Fall nach, daß m_1 und m_2 gleiche Substanzen desselben Aggregatzustands sind, anderenfalls bedarf sie einer Erweiterung. Wilke mischte gleiche Mengen siedenden Wassers (100^0 C) und Eis (0^0 C), wodurch eine Temperatur von 14^0 C resultierte, so daß also einem Wärmegewinn (des Eises) von 14^0 ein Verlust (des Wassers) von 86^0 gegenüberstand, also im ganzen 72 Grad verloren gingen. Wilke bestätigte dann durch weitere Versuche, daß die zur gleichen Temperaturerhöhung erforderlichen Wärmemengen je nach der Substanz verschieden groß sind, und gelangte so zu dem äußerst wichtigen Begriff der spezifischen Wärme.

Digitized by Google

Zur Bestimmung dieser Größe bediente man sich anfänglich der „Methode der Mischung", die sich auf die erweiterte Richmannsche Formel stützt:

$$t = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot t_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2},$$

in der t, t_1, t_2, m_1, m_2 dasselbe wie früher, c_1 und c_2 aber die spezifischen Wärmen bedeuten.

Lavoisier (1743—94) und Laplace (1749—1827) benutzten (1777) das Eiskalorimeter zur Bestimmung spezifischer Wärmen. Dabei muß der zu untersuchende er-

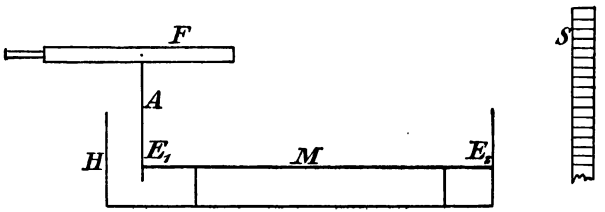


Fig. 2. Lavoisier und Laplace, Ausdehnung fester Körper.

hitzte Körper Eis schmelzen. Aus den Temperaturen, dem Gewicht des Körpers und des Schmelzwassers ergibt sich dann die gesuchte spezifische Wärme. Von den gleichen Forschern stammen auch die ersten brauchbaren Messungen der thermischen Ausdehnung von Stäben (1778).

Der Metallstab M (Figur 2), dessen Ausdehnungskoeffizient gesucht wurde, war an einem Ende E_2 befestigt und lag in dem Heizraum H. Das andere Ende E_1 des Stabes stieß an einen Hebelarm A, an dessen Drehungsachse ein Fernrohr F befestigt war, durch das man eine Skala S betrachtete. Dehnte sich der Stab durch Erwärmen aus, so erblickte man einen andern Skalenteil im Fernrohr. Aus den Temperaturen, der Verschiebung und der Stablänge läßt sich dann der Ausdehnungskoeffizient berechnen.

Digitized by Google

Die anomale Ausdehnung des Wassers fand Deluc 1776. Sie bedingt bekanntlich ein über dem Gefrierpunkt liegendes Dichtigkeitsmaximum des Wassers. Deluc fand es bei 5° C, also etwas zu hoch.

Eine ganz besondere Art der Wärmefortpflanzung nämlich durch Strahlung untersuchte der Chemiker Scheele (1742—86). Er wußte, daß die Luft dadurch nicht erwärmt werde, deshalb hindere auch bewegte Luft diese „strahlende Wärme" — so nannte er sie — keineswegs. Ein Glasspiegel reflektiert zwar Licht-, aber keine Wärmestrahlen, wohl aber tut dies eine spiegelnde Metallfläche.

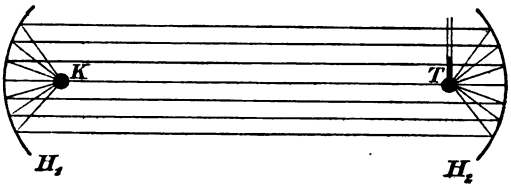


Fig. 3. Hohlspiegelversuch von Pictet.

Treffliche Bestätigung dieser Entdeckungen gab Marc Auguste Pictet (1752—1825) in Genf. Er stellte zwei große Hohlspiegel aus poliertem Zinn H_1 und H_2 (Fig. 3) derart gegenüber, daß die durch eine heiße Kugel K im Brennpunkt des einen Spiegels erregten Wärmestrahlen von H_1 parallel zur Achse reflektiert wurden und dann von dem anderen Spiegel H_2 in seinem Brennpunkt gesammelt wurden. Befand sich hier ein Thermometer T, so stieg seine Quecksilbersäule rasch, besonders wenn seine Kugel berußt war. Mit Glasspiegeln mißlang der Versuch völlig. Als Pictet einst versuchen wollte, durch Einschalten einer Glasplatte zwischen H_1 und H_2 die Geschwindigkeit der Wärmestrahlung zu messen, hatte er

Digitized by Google

natürlich keinen Erfolg. Wir erwähnten schon früher ähnliche Experimente der Accademia del Cimento und wollen der Vollständigkeit halber an die von Boyle gemachten diesbezüglichen Versuche noch anschließen, daß es 1681 Mariotte gelungen war, mit einer bikonvexen Eislinse, die er von ausgekochtem Wasser verfertigt hatte, Schießpulver durch die Sonnenstrahlen zu entzünden.

Annehmbare Anschauungen über das Wesen der Wärme hat das achtzehnte Jahrhundert nicht eigentlich geschaffen. Der Glauben an einen Wärmestoff, der so viele Widersprüche in sich schließen mußte, war zu allgemein. Erst das neunzehnte Jahrhundert brachte hier die erforderliche Klarheit.

Die Optik.

Nach den anscheinend erschöpfenden Untersuchungen Newtons auf dem Felde der Optik lag dies einige Zeit unbearbeitet da. Man gewöhnte sich an den Gedanken, was jener Physiker gelehrt, für unstreitig richtig anzusehen. In einen offenen Widerspruch zu ihm trat erst Euler (1707—83), als er 1747 in den Memoiren der Berliner Akademie die Ansicht veröffentlichte, die verschiedenen Medien des Auges seien nur dazu bestimmt, die bei der Brechung auftretende Farbenzerstreuung zu beseitigen. Newton glaubte, wie wir erwähnten, Dispersion und Refraktion seien unlöslich aneinander verknüpft, wo eine Brechung des Lichtes stattfinde, erfolge auch stets eine Farbenzerstreuung. Der ehemalige Seidenweber John Dollond (1706—61) verfolgte die Idee Eulers noch weiter und gelangte tatsächlich zu der von Newton als unmöglich erachteten Konstruktion achromatischer Prismen und Linsen.

Schon 1757 konstruierte Dollond das erste achroma-

Digitized by Google

tische Fernrohr. Auch sonst arbeitete man eifrig an der Vervollkommnung optischer Instrumente. 1738 erfand der Arzt Lieberkühn (1711—56) in Berlin das Sonnenmikroskop, das man fälschlich dem Kieler Professor Reyher (1634—1714) zuzuschreiben pflegt. Erwähnung verdient noch der von John Hadley († 1744) konstruierte Spiegelsextant zu Winkelmessungen, sowie der von dem Glaser Godfrey († 1749) verfertigte Spiegelquadrant.

Häufig findet man durch eine Namensverwechslung als Erfinder des Spiegelsextanten Halley (1656—1724) angegeben. Von diesem stammt vielmehr (1693) die erste allgemeingültige Formel für Gegenstands-, Bild- und Brennweite bei sphärischen Spiegeln und Linsen, bei der aber vorausgesetzt wird, daß die Strahlen mit der optischen Achse nur einen kleinen Winkel bilden und die Linsendicke vernachlässigt werden darf.

Das Gebiet der Lichtstärkenmessung betrat erstmals mit Erfolg der schon genannte Pierre Bouguer. Er gab 1729 das erste brauchbare Photometer an, bei dem transparente Schirme auf gleiche Helligkeit eingestellt wurden. Er untersuchte damit z. B. die Schwächung des Lichts durch Reflexion, maß auch die Absorption beim Durchgang durch Glas, Wasser usw. Erst 1760 jedoch stellte Johann Heinrich Lambert (1728—1777) die photometrischen Grundgesetze auf. Danach ist die Beleuchtungsstärke einer Fläche dem Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle umgekehrt, der Lichtstärke derselben aber direkt proportional. Bei schräger Beleuchtung ist sie gleich dem Produkt aus der normalen Beleuchtungsstärke und dem Sinus des Winkels, den die Strahlen mit der beleuchteten Fläche bilden. [Kosinus des Winkels der Strahlen mit dem Einfallslot.]

Der astronomischen Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit durch Römer war noch keine terrestrische gefolgt, da-

gegen fand Bradley (1692—1762) eine weitere Methode, gestützt auf die durch ihn entdeckte Aberration des Fixsternlichts. Er hatte nämlich im Dezember 1725 auf der Privatsternwarte von Molyneux (1689—1728) zu Kew bei London eine scheinbare Ortsveränderung des Sternes: γ draconis beobachtet. Gemeinsam mit dem Besitzer des Observatoriums fand er, daß dieser Fixstern im Laufe eines Jahres eine Ellipse beschrieb, deren große Achse etwa 40 Bogensekunden betrug. Bradley erkannte, daß bei dem endlichen Wert der Lichtgeschwindigkeit ein Stern sich gar nicht da befinden könne, wo das eingestellte Fernrohr hinweise, daß dies vielmehr in der Bewegungsrichtung der Erde geneigt sein muß, entsprechend der Diagonale des Parallelogramms aus den Geschwindigkeiten von Licht und Erde. Aus der Abweichung des Lichtstrahls, der sog. Aberration, und der Erdgeschwindigkeit fand Bradley, daß das Licht in einer Sekunde 41 500 Meilen zurücklegt[1]).

Die Frage nach dem Wesen des Lichts schien durch die Emanationshypothese Newtons endgültig gelöst und die Undulationslehre von Huygens ein für allemal abgetan. Nur ein Mann unternahm es nachzuweisen, auf welch schwachem Fundament Newtons Anschauung stehe. Es war Leonhard Euler, der seine diesbezüglichen Untersuchungen unter anderem in einem leicht verständlichen, äußerst anregend geschriebenen Werke: „Lettres à une princesse d'Allemagne sur quelques sujets de physique et de philosophie" (Petersburg 1768—72) niedergelegt hat.

Euler hält es für besonders unwahrscheinlich, daß ein selbstleuchtender Körper, also vor allem die Sonne, ewig eine ungeheure Menge von Lichtteilchen aussenden könne, ohne sich dadurch zu erschöpfen, d. h. eine Abnahme der Lichtstärke zu zeigen. Nach der Emanationslehre müßte das Universum nach allen Richtungen hin von solchen Lichtströmen mit riesiger Geschwindigkeit durchflutet werden. Und sie sollten sich nicht gegenseitig stören? Wie sollen wir

[1]) Weiteres über Aberration vgl. Sammlung Göschen Nr. 92, S. 129 ff.

Digitized by Google

uns ferner einen durchsichtigen Körper vorstellen, bei dem sich doch die materiellen Lichtstrahlen nur in den Poren bewegen können? Die Poren müßten in geraden Linien angeordnet sein und diese den ganzen, allseitig durchsichtigen Körper nach jeder nur denkbaren Richtung durchsetzen. Man käme ja damit auf die ganz unsinnige Idee, ein Körper bestehe nur aus Poren!

Euler gelangt zu dem Schluß, daß die Annahme einer Wellenbewegung des Äthers, wie sie sich Huygens vorstellt, alle diese und noch andere Schwierigkeiten nicht kennt. Ja, sogar für das von Huygens nicht gelöste Problem der Farben hat sich Euler eine allerdings nur auf einer Vermutung basierende Erklärung zurechtgelegt, indem er annimmt, die Farbe werde durch die Anzahl der Ätherschwingungen in der Zeiteinheit charakterisiert.

Es ist ganz außerordentlich zu bedauern, daß Eulers Ideen und Anregungen so gut wie keinen Anklang gefunden haben. Seiner Zeit gefiel das Herumexperimentieren mit der Elektrizität besser als eingehende Untersuchungen subtilster Natur über Fundamentalfragen der Optik.

Der Magnetismus.

Das achtzehnte Jahrhundert betrachtet die magnetische Kraft noch als eine spezifische Eigenschaft von Stahl und Eisen und kennt keine anderen Stoffe, die vom Magnet angezogen werden oder selbst bleibenden Magnetismus annehmen können. Diese scheinbare Vorzugsstellung des Eisens mußte naturgemäß ein tieferes Eindringen in das Wesen des Magnetismus so lange illusorisch machen, bis man Mittel hatte, um starke magnetische Felder zu erzeugen. Dies war aber erst im neunzehnten Jahrhundert möglich, in dem mit den Studien über Elektromagnetismus neue Wege und Methoden eröffnet wurden.

Die erste Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts war hauptsächlich auf die Benutzung des natürlichen Magneten angewiesen, der deshalb sehr gesucht war und dementsprechend teuer bezahlt wurde. Man ersann daher die mannigfaltigsten

Digitized by Google

Methoden zur Herstellung künstlicher Magnete aus natürlichen. Die Magnetisierung durch einfachen Strich stammt (1730) von Servington Savery, während Canton und Michell unabhängig voneinander (1750) die sog. Methode des Doppelstrichs angaben.

Zunächst benutzte man nur Magnete in Stabform. Um die Wirkung für gewisse Zwecke zu verstärken, empfiehlt es sich, die beiden Pole möglichst nahe aneinander zu bringen, was durch eine Biegung des Stabes leicht erzielt werden kann. Man hat dann den „Hufeisenmagneten", wie ihn der 1758 verstorbene Mechaniker Johann Dietrich zu Basel zuerst verfertigte. Die Veranlassung dazu hatte wohl Daniel Bernoulli gegeben, der auch das (keineswegs allgemeine) Gesetz aufstellte, die Tragkraft eines solchen Magneten sei seiner Oberfläche und der Kubikwurzel aus dem Quadrate seines Gewichts direkt proportional.

Aus dem Jahre 1701 stammt die erste Karte, die für die einzelnen Punkte der Erdoberfläche die magnetische Deklination angibt. Sie war das Ergebnis zweier Reisen, die Edmund Halley (1656—1742) im Auftrage der englischen Regierung unter König Wilhelm I. in den Jahren 1698 bis 1700 ausgeführt hatte. Vergleicht man unsere heutigen Isogonenkarten mit derjenigen Halleys, so zeigt sich eine zum Teil recht beträchtliche Verschiebung der Linien gleicher Deklination („Isogonen"). Eine solche Karte kann also nur für eine gewisse Zeit und auch da nur angenähert richtig sein, weil die Deklination, wie George Graham (1675—1751) 1722 entdeckte, sich im Laufe eines Tages ändert und ein Maximum und ein Minimum erreicht. Auch für die Inklination einer Magnetnadel fand Graham tägliche Schwankungen. Cunningham (1700) und Noël (1706) hatten die Beobachtung gemacht, daß die magnetische Inklination auf der nördlichen bzw. südlichen Hälfte der Erde nicht immer nördlich bzw. südlich und stets Null an ihrem Äquator ist. Linien gleicher Inklination („Isoklinen") haben des-

Digitized by Google

halb nicht den gleichen Verlauf wie die Parallelkreise, ebenso fällt auch der magnetische Äquator nicht mit dem geographischen zusammen, sondern durchschneidet ihn an zwei Stellen.

Im Jahre 1716 bemerkte Halley, daß die Abweichung des Scheitels eines Nordlichtbogens nach Westen etwa gerade so groß ist als die magnetische Deklination. Mairan (1678—1771) vervollständigte 1747 diese Beobachtung dahin, daß die Krone des Nordlichts sich in der Richtung der Inklinationsnadel befindet. Einen noch engeren Zusammenhang zwischen Nordlicht und Erdmagnetismus hatte Olaf Hjorter (1696—1750), Observator an der Sternwarte zu Upsala, am 1. März 1741 entdeckt. Es war gerade ein besonders helles Nordlicht sichtbar, und die Magnetnadel, deren Beobachtung zu seinen Obliegenheiten gehörte, zeigte beträchtliche Schwankungen, was ihn nötigte, das Nordlicht als Ursache derselben anzunehmen. Über die Natur des Polarlichts herrschten die widersprechendsten Anschauungen; wir heben nur diejenige Halleys heraus, der es für einen magnetischen Ausfluß hielt, der sich vom Nord- nach dem Südpol hinziehe.

Um das Wesen eines Magneten zu erklären, nahm Aepinus (1724—1802) im Jahre 1759 ein magnetisches Fluidum an, das je nach Überschuß oder Mangel gegen ein Normalquantum den einen oder anderen Pol hervorrufe. Diese Theorie ist völlig analog der von Franklin für die Elektrizität aufgestellten. Coulomb (1736—1806) denkt sich jeden Magneten aus unendlich vielen kleinen zusammengesetzt, von denen jeder einzelne mit einer nord- und südmagnetischen Flüssigkeit behaftet ist. Mit Hilfe der noch heute fast unverändert gebräuchlichen Drehwage untersuchte Coulomb die gegenseitige Wirkung zweier magnetischer Pole und begründete damit sein bekanntes Gesetz. Die bezüglichen Arbeiten hat Coulomb 1785—1789 in den Memoiren der Pariser Akademie niedergelegt.

Digitized by Google

Die Elektrizität im achtzehnten Jahrhundert.

Im achtzehnten Jahrhundert herrscht auf dem Gebiete der Physik ein wahrer Elektrizitätstaumel. Die mannigfachen und so grundverschiedenen elektrischen Erscheinungen, mit denen man bekannt wurde, mußten das Interesse aller Liebhaber der Wissenschaften in hohem Grade erwecken. Vielfach war es nur das dem Menschen innewohnende Bedürfnis, an rätselhafte Phänomene heranzutreten, was zu Experimenten mit der wunderbaren Naturkraft anspornte. Das Aufsehen, welches der elektrische Funke, seine zündenden und physiologischen Wirkungen notwendigerweise erregen mußten, kann man an der begeisterten Aufnahme ermessen, die unsere an sensationellen Erfindungen und Entdeckungen gewiß nicht arme Zeit den X-Strahlen, dem Radium usw. bereitet hat. Wie heutzutage phantastische Köpfe allenthalben Radioaktivität wittern, so glaubten Laien und Gelehrte um die Mitte des achtzehnten Jahrhunderts bei jeder unerklärlichen Erscheinung an eine neuartige Äußerung der geheimnisvollsten aller Naturkräfte.

An die von uns auf Seite 12 erwähnte Erscheinung des Aufleuchtens der Torricellischen Leere im Barometer knüpfen einige Untersuchungen an, die für die Entwicklung der Elektrizitätslehre von Bedeutung sind. Man suchte dieses Leuchten durch die Annahme eines „merkurialischen Phosphors" zu erklären. Die Versuche des im Jahre 1705 verstorbenen Mitglieds der Royal Society Francis Hawksbee konnten aber keinen Zweifel mehr über die elektrische Natur jener Erscheinung aufkommen lassen. Seine Experimente hat er in einer erst 1709 erschienenen Schrift: „Physico-mechanical experiments on various subjects touching light and electricity" niedergelegt. Darin finden sich z. B. Studien über den elektrischen Funken, den er in einer Länge bis zu einem Zoll durch schnell rotierende, mit der Hand geriebene Kugeln aus Glas, Siegellack oder Schwefel erhielt. Auch das Leuchten von ge-

Digitized by Google

riebenen Glasröhren, Schwefel- und Bernsteinstücken nahm Hawksbee wahr. An dem letztgenannten Stoff hatte schon im Jahre 1698 der Engländer Wall durch Reibung mit Wollenzeug einen Funken erhalten, dessen Lichterscheinung und knisterndes Geräusch er mit Blitz und Donner verglich. Hawksbee wußte, daß durch Feuchtigkeit das Gelingen elektrischer Versuche leicht in Frage gestellt wird, und fand auch, daß Metalle durch Reiben nicht elektrisch gemacht werden können, ohne jedoch eine Erklärung geben zu können, da der Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern der Elektrizität erst im Jahre 1729 von Stephen Gray erkannt wurde.

Als Gray (Mitglied der Royal Society, † 1736 zu London) untersuchte, ob eine durch Reiben elektrisierte Glasröhre ihre Wirkung ändert, wenn man sie an den Enden durch Korkpfropfen verschließt, fand er, daß der Kork ebenso leichte Körper anzog als das Glas. Dasselbe trat auch ein, wenn man in den Kork einen Holzstab usw. steckte. Im Verfolg dieser Experimente unterschied Gray Leiter und Nichtleiter der Elektrizität. Dies war insofern ein wichtiger Fortschritt, als man nun mehrere Erscheinungen leichter erklären konnte und in Zukunft alle Körper, die ihre Elektrizität ohne Verlust behalten sollten, in passender Weise isolierte. Gray legte z. B. einen Knaben, den er elektrisierte, auf ein horizontales Brett, das an seidenen Schnüren hing, oder stellte ihn auf eine Harzplatte. Gray ist somit der Erfinder des sog. Isolierschemels.

Das Nichtelektrischwerden der Metalle durch Reibung führte Dufay (1698—1739) auf das (falsche) Gesetz, daß nur die Nichtleiter sich durch Reiben elektrisieren lassen. Von großer Bedeutung ist es, daß er erstmals zwei verschiedene, in einem gewissen Gegensatze stehende Elektrizitäten unterschied, die des Glases und die des Harzes, sowie daß er das allerdings nicht ganz bedingungslos gültige Gesetz aufstellte: „Jeder elektrische Körper zieht jeden unelektrischen an und stößt ihn, wenn er ihn elektrisch gemacht hat, wieder ab."

Desaguliers (1683—1744) führte die Bezeichnungen Leiter (conductores) und Nichtleiter oder „an sich elektrische Körper" (corpora electrica per se) ein und machte auf einen wichtigen Unterschied in der Abgabe der Elektrizität bei beiden aufmerksam. Ein elektrischer isolierter Leiter ver-

Digitized by Google

liert bei Berührung mit der Hand sofort seine ganze Elektrizität, ein elektrisierter Nichtleiter dagegen nur an der berührten Stelle.

Die Erfahrungen, die man aus den erforschten elektrischen Erscheinungen gewonnen hatte, ermöglichten es, nun auch an den Bau eigentlicher Elektrisiermaschinen heranzutreten, mit denen man stärkere Wirkungen als mit den geriebenen Glasröhren erzielen konnte. Guericke hatte zwar früher schon eine rotierende Kugel aus Schwefel, Hawksbee eine aus Glas benutzt, aber das Experimentieren war damit keineswegs erleichtert. Es war eigentlich nichts Neues, wenn sich der Leipziger Physiker Hansen (1693—1743) durch den Vorschlag seines Schülers Litzendorf veranlaßt sah, eine mittels einer Kurbel gedrehte Glaskugel durch Reiben an der Hand zu elektrisieren. Doch erfuhr seine Maschine brauchbare Verbesserungen. Bose in Wittenberg (1710—61) gab ihr nämlich (1744) den ersten Konduktor, der aus einer isoliert angebrachten Blechröhre bestand, welche durch ein Fadenbündel die Elektrizität von der Kugel abnahm. Letztere ersetzte der Professor Gordon in Erfurt (1712—51) durch einen Glaszylinder.

Die mancherlei Unzuträglichkeiten mit sich bringende Verwendung der Hände von Personen zur Reibung wurde 1744 durch das von Winkler in Leipzig (1703—70) oder vielmehr von einem Mechaniker, dem Dreher Gießing, stammende eigentliche Reibzeug ersetzt, das aus Wolle oder Leder gefertigt wurde. Canton (1718—72) bestrich es (1753) mit Amalgam von Zinn, während Higgins 1778 Zink dazu verwendete. Das jetzt am meisten gebräuchliche Amalgam rührt von dem Freiherrn von Kienmayer aus Wien her (1788). Der Saugkamm zur bequemen Abnahme der Elektrizität von dem geriebenen Körper ist um das Jahr 1746 von dem Engländer Benjamin Wilson (1708—88) eingeführt worden.

Ein weiterer Schritt für die Verbesserung der Elektrisiermaschine war die Benutzung von Glasscheiben an Stelle der Zylinder. Urheber und Zeit sind nicht genau zu ermitteln. Man nennt den Prediger Martin Planta (1727—72; 1755?), den Arzt Sigaud de la Fond (1740—1810) und den Arzt Jan Ingenhouß (1730—99; 1764?). Eine wahre Riesenmaschine verfertigte der Mechaniker John Cuthbertson für das „Musée Taylor" zu Haarlem, dessen physikalischer und

Digitized by Google

naturgeschichtlicher Abteilung der ehemalige Arzt Martin van Marum (1750—1837) vorstand. Dieser beschrieb (1785) die gewaltigen Wirkungen dieser Maschine, die in jeder Minute 300 Funken von 60 cm Länge lieferte.

Mit den verbesserten Maschinen gelang es, eine außerordentliche Zahl von Experimenten anzustellen, die vielfach so seltsam erschienen, daß sich auch begüterte Dilettanten in großer Zahl der Elektrizität zuwandten. Es gehörte zu gewissen Zeiten fast zum guten Tone, elektrische Versuche anzustellen. Die Zündwirkungen des Funkens zeigten der Arzt Ludolf (1707—63) an Schwefeläther, Bose an Schießpulver, Gordon an Weingeist, den er sogar durch einen elektrisierten Wasserstrahl entflammte. Gralath (1708—67) entzündete mit dem Funken eine eben ausgeblasene Kerze. Solche Versuche konnten natürlich ihren Erfolg auf die Zuschauer nicht verfehlen, besonders wenn der Funke aus dem Körper eines isolierten Menschen gezogen wurde. Die Vorführung derartiger Experimente in Gesellschaften war darum sehr beliebt, an möglichst komödiantenhafter Demonstration ließ man es gewöhnlich nicht fehlen. Bose stellte sich z. B. mit allerlei spitzen Metallgeräten auf einen Isolierschemel und ließ sich kräftig elektrisieren. Im dunkeln Zimmer umgab ihn dann die ausströmende Elektrizität mit einer leuchtenden Glorie, was ihn veranlaßte, diesen Versuch mit Beziehung auf eine bei einer Seligsprechung üblichen Zeremonie möglichst geschmacklos „Beatifikation" zu nennen.

Ganz außerordentliches Aufsehen erregten die Versuche mit der Verstärkungsflasche. Ein Domdechant zu Cammin in Pommern namens Ewald Georg von Kleist († 1748) hatte am 11. Oktober 1745 in ein Fläschchen, das innen feucht war, einen Nagel gesteckt und ihn elektrisiert, während er das Glas in der einen Hand hielt. Als er dann mit der anderen den Nagel herausnehmen wollte, erhielt er eine starke Erschütterung. Sie war noch bedeutender, wenn das Gläschen etwas Weingeist oder Quecksilber enthielt. Fast zur gleichen Zeit, da Kleist seinen Versuch befreundeten Physikern mitteilte, hörte man von einem ganz ähnlichen, der in Leiden angestellt

Digitized by Google

worden war. Dort hatte Cunaeus nach dem Vorschlage von Pieter van Musschenbroek (1692—1761) Wasser in einem Gläschen durch einen hineingesteckten Nagel zu elektrisieren versucht und, wie Kleist, einen starken elektrischen Schlag erhalten. Musschenbroek schrieb (1746) von diesem schrecklichen Experiment an Réaumur mit dem Bemerken, „nicht um Frankreichs Königskrone wolle man eine solch entsetzliche Erschütterung nochmals erdulden". Durch Réaumur erfuhr auch der Abbé Nollet (1700—70) von dem Versuche. Von ihm stammt die noch heute gebräuchliche Bezeichnung „Leidener Flasche", während sie von Krüger (1715—59) nach Kleist benannt wurde.

Die Nachrichten jener Zeit über die physiologische Wirkung des Entladungsschlags sind recht seltsam; da hört man von Fieber, Nasenbluten, Krämpfen, Schmerzen, die tagelang anhielten usw. War man damals empfindlicher oder hat man absichtlich übertrieben?

Gralath, der zuerst mehrere mit Wasser gefüllte Flaschen zu einer Batterie vereinigte, ersetzte den Nagel durch einen Draht, der oben eine Bleikugel trug. Die äußere Belegung mit Metallfolie stammt von Bevis (1695—1771), die innere von Watson (1715—87). Le Monnier (1717—49) entdeckte die Notwendigkeit der Ableitung des äußeren Flaschenbelags. Canton entlud die Flasche allmählich, indem er sie isoliert aufstellte und abwechselnd die beiden Belegungen berührte. Er bestimmte auch die Kapazität der Flasche aus der Zahl der Funken, die er einem isolierten Leiter mit der geladenen Flasche mitteilen konnte. Von dem Apotheker Lane (1734—1807) in London stammt die seinen Namen tragende Maßflasche, die er in einem Brief an Franklin (15. Okt. 1766) beschrieb. Sie gestattet bekanntlich, die in einer Leidener Flasche oder Batterie

Digitized by Google

aufgespeicherte Elektrizitätsmenge relativ zu messen. Benjamin Franklin (1706—90) baute (1749) die erste Kaskadenbatterie, indem er mehrere Flaschen so an dem Konduktor einer Elektrisiermaschine befestigte, daß jede an dem Boden einer andern hing. Wir werden später noch auf wichtige theoretische Betrachtungen Franklins über Kondensatoren usw. zurückkommen.

Mit Hilfe einer Leidener Flasche versuchte Watson im Jahre 1748 die Geschwindigkeit der Elektrizität zu messen. Ein Beobachter faßte mit beiden Händen die Enden zweier Drähte, von denen der eine mit der äußeren Belegung einer Leidener Flasche verbunden war, während der andere dem Knopf genähert werden konnte, so daß die Entladung durch den Körper des Beobachters erfolgte. Man suchte nach einer Zeitdifferenz zwischen dem Aufblitzen des Funkens und der empfundenen Erschütterung. Aus leicht ersichtlichen Gründen konnte man natürlich keine solche Differenz wahrnehmen, selbst wenn die Drähte über 12 000 Fuß lang waren.

Zum genaueren Studium elektrischer Erscheinungen ersann man Elektroskope, die je nach ihrem besonderen Zweck und der dadurch bedingten Empfindlichkeit verschiedenartig umgestaltet wurden. Das Metallnadelinstrument von Gilbert wurde schon früher (Bd. I, S. 40) erwähnt. Dufay hängte Fäden aus Seide, Baumwolle und Wolle isoliert auf und beobachtete die Differenz bei Berührung mit einem elektrischen Körper. Canton (1753) führte das noch heute gebräuchliche Doppelpendel ein, das an Stelle der durch von Waitz (1698 bis 1777) verwendeten Metallscheibchen leichte Holundermarkkugeln besaß. Cavallo (1749—1809) schloß das Doppelpendel zur Vermeidung störender Luftströmungen in eine Glasflasche ein. Damit war aber auch die Möglichkeit gegeben, statt der Markkugel zwei noch leichtere Goldblättchen zu benutzen, wie dies (1787) der englische Pfarrer Bennet (1750—99) tat. Volta gebrauchte für den gleichen Zweck zwei leichte Strohhalme. Eine Umgestaltung des Instruments von Canton stellt das bekannte Quadrantelektrometer (1772) des um 1779 verstorbenen Leinwandhändlers William Henley dar, von dem auch der heute noch viel gebräuchliche Auslader stammt (1779).

Digitized by Google

Von Elektrometern ist auch die elektrische Wage zu nennen, mit der man die Größe der Anziehung ermittelt. Sie wurde 1746 von dem Uhrmacher John Ellicot († 1772) und 1747 von Gralath angegeben. Entschieden das feinste Instrument ist die allbekannte Drehwage, mit der Coulomb seine wichtigen Messungen elektrischer und magnetischer Kräfte (1785—89) anstellte.

Wir haben schon früher erwähnt, daß Otto von Guericke erstmals eine Influenzerscheinung beschrieb, ohne jedoch eine Erklärung dafür zu geben. Canton bemerkte (1754), daß die Kugeln eines Doppelpendels sich gegenseitig abstießen, wenn man mit einem elektrisierten Stabe in die Nähe kam, dagegen sofort wieder zusammenfielen, wenn man den Stab entfernte. Er erklärte sich dies durch die Annahme einer „elektrischen Atmosphäre", durch welche die Pendelkugeln dieselbe Elektrizität wie der Stab erhalten sollten. Dem widersprach jedoch folgende von Wilke (1732—96) gemachte Beobachtung: Er brachte einen elektrisierten Stab in die Nähe eines isolierten Holundermarkpendels und berührte dies kurz mit dem Finger. Entfernte er dann den Stab, so zeigte das Pendel die entgegengesetzte Elektrizität wie dieser. Dasselbe Resultat erzielte Wilke sogar, wenn er, statt abzuleiten, dem Pendel eine Nadelspitze näherte. Wie sollte man erklären, daß die „elektrische Atmosphäre" das Pendel entgegengesetzt elektrisch machte? Einen genaueren Einblick in das Wesen dieser Phänomene lieferten die Versuche (1759) von Franz Theodor Aepinus (1724—1802). Er zeigte nämlich, daß in einem isolierten Leiter, den man einem elektrischen Körper nähert, Elektrizität auftritt, und zwar im zugewandten Ende die entgegengesetzte, im abgewandten dagegen die gleiche wie im Körper. Aepinus ließ deshalb den Begriff der „elektrischen Atmosphäre" fallen und ersetzte ihn durch den präziseren des elektrischen Wirkungskreises. Wilkes Versuch ließ sich nun erklären; die Frage nach dem Ursprung der Elektrizitäten auf dem isolierten Leiter beantwortete Aepinus gemäß der unitarischen Theorie.

Dufay hatte zwei verschiedene Elektrizitäten angenommen, die des Glases und die des Harzes. Franklin dagegen glaubte, man reiche schon mit einer Elektrizität aus. Er begründete damit die unitarische Theorie. Danach besitzt jeder Körper ein Normalquantum Elektrizität. Wird dies

Digitized by Google

verringert bzw. vergrößert, so weist der Körper die Elektrizität des Glases bzw. Harzes auf. Franklin erklärt damit z. B. die Leidener Flasche. In ungeladenem Zustand besitzen ihre beiden Belegungen ein Normalquantum Elektrizität. Durch das Laden entsteht auf dem einen Belag ein Weniger, auf dem andern ein (absolut gleiches) Mehr von Elektrizität. Beim Entladen gleichen sich dieser Mangel und Überschuß wieder aus. Der Engländer Robert Symmer († 1763) verwarf Franklins Anschauung und stellte (1759) eine dualistische Theorie auf. Nach ihr gibt es zwei elektrische Fluida, die in einem unelektrischen Körper in gleichen Mengen vorhanden sind und sich gegenseitig neutralisieren. Bei einem elektrischen Körper ist eine im Überschuß oder überhaupt allein vorhanden, so daß ein Elektrisieren einer Trennung der beiden Fluida gleichkommt. Dies wurde überdies durch einen schon 1757 angestellten Versuch von Wilke bestätigt. Er zeigte nämlich, daß beim Reiben eines Körpers nicht nur dieser, sondern auch das Reibzeug Elektrizität aufwies, und zwar die entgegengesetzte wie der Körper. Er stellte dann eine Spannungsreihe mehrerer Substanzen auf, so daß jede mit der folgenden bzw. vorausgehenden gerieben positiv bzw. negativ — in unserer Ausdrucksweise — wurde.

Symmers Theorie war die Frucht seiner Versuche mit einem ganz ungewöhnlichen physikalischen Apparate, seinen Strümpfen. Er pflegte solche von weißer und darüber von schwarzer Farbe zu tragen. Als er einst beide nacheinander auszog, bemerkte er, daß sie dadurch elektrisch wurden und daß sogar Funken zwischen ihnen auftraten. Zwei abgestreifte schwarze Strümpfe stießen sich gegenseitig ab, ebenso zwei weiße, während zwischen zwei ungleichfarbigen eine Anziehung erfolgte. Symmer konnte all dies aus der Annahme zweier Elektrizitäten und dem Gesetz erklären, daß sich zwei gleichartige abstoßen, zwei ungleichartige dagegen anziehen.

Aepinus versuchte, wie erwähnt, sein Influenzexperiment nach der unitarischen Theorie zu erklären, was jedoch viel umständlicher ist als nach derjenigen Symmers. Diese hat daher aus Zweckmäßigkeitsgründen auch nach und nach mehr Anklang gefunden und schließlich Franklins Ansicht völlig verdrängt, besonders nachdem man bemerkt hatte, daß die sog. Lichtenbergschen Figuren wider Erwarten keinen

Digitized by Google

Entscheid zwischen den beiden Theorien liefern konnten. Der bekannte Satiriker, Mathematiker und Physiker Georg Christoph Lichtenberg (1744—99) zu Göttingen hatte diese Figuren (1777) erstmals erhalten, als er einen Harzkuchen an einer elektrisierten Stelle bestäubte. Lichtenberg hat auch einen sehr glücklichen, noch heute ausschließlich gebräuchlichen Ausdruck geschaffen, indem er (1777) die Glas- bzw. Harzelektrizität als „positive" bzw. „negative" bezeichnete. Diese Benennung ist schon deshalb zweckmäßiger als die ältere, weil, wie Canton zuerst gezeigt hat, Glas je nach seiner Beschaffenheit und dem Reibzeug auch negativ elektrisch werden kann.

Es ist nicht mit Sicherheit festzustellen, wer zuerst bemerkt hat, daß ein Körper seine Elektrizität verliert, wenn man ihm eine abgeleitete Nadel gegenüberstellt. Es erweckte den Anschein, als sauge deren Spitze die Elektrizität aus dem Körper heraus. Noch heute kann man diese irrige Meinung häufig in Physikbüchern vorfinden, während vielmehr die Erscheinung dadurch zu erklären ist, daß die Elektrizität des geladenen Körpers von der aus der Spitze ausströmenden ungleichnamigen neutralisiert wird. Der dabei auftretende sog. „elektrische Wind" war bereits Franklin (1747) bekannt. Nur erwähnt sei das elektrische Flugrad (1750) von Wilson (1708?—88). Unstreitig die wichtigste Anwendung der Spitzenwirkung — vom Saugkamm der Elektrisiermaschinen abgesehen — bietet der Blitzableiter, der allein schon genügen würde, den Namen seines Erfinders Franklin unvergeßlich zu machen.

Nach Wall hatten auch Desaguliers, Nollet und (1746) Winkler die Vermutung ausgesprochen, der Blitz sei nur ein gewaltiger elektrischer Funke. Auch Franklin war fest davon überzeugt und machte schon 1750 den ersten Vorschlag zur Konstruktion eines Blitzableiters, ohne sich jedoch mit der praktischen Ausführung zu befassen. In Frankreich lieferte man im Mai 1752 an isolierten senkrechten Eisenstangen von 40 und 99 Fuß Höhe den experimentellen Nachweis für die elektrische Natur des Blitzes. Im Juni 1752 zeigte auch Franklin unabhängig

Digitized by Google

dasselbe durch den berühmten Versuch mit einem Seidendrachen, an dessen eiserner Spitze eine Hanfschnur befestigt war, die an ihrem unteren Ende einen Schlüssel trug. An ihn war eine seidene Litze geknüpft, die man in der Hand hielt. Während eines herannahenden Gewitters (22. Juni 1752) ließ Franklin unter Beihilfe seines Sohnes den Drachen auf freiem Felde bei Philadelphia steigen, jedoch zunächst ohne Erfolg. Dieser stellte sich erst ein, als der Gewitterregen die Schnur angefeuchtet und damit leitend gemacht hatte. Franklin konnte nämlich jetzt zahlreiche Funken aus dem Schlüssel herausziehen. Ermutigt durch die schöne Bestätigung seiner Überlegungen, errichtete er nun an seinem Hause eine hohe isolierte Eisenstange, die am untern Ende ein elektrisches Glockenspiel besaß, das durch sein Geklingel die Anwesenheit von Elektrizität nachwies. Wie alle seine bedeutenden Studien auf diesem Gebiete legte er auch die Theorie des Blitzableiters in einem der Briefe (dem 13. vom 17. Sept. 1753) dar, die er vom 28. Juli 1747 bis 18. April 1754 an den Kaufmann Peter Collinson (1694 bis 1768), Mitglied der Royal Society, richtete. Im Jahre 1753 hatte auch Winkler den Blitzableiter vorgeschlagen, was 1754 einen Ordenspriester der Prämonstratenser, Prokop Diwisch († 1765) zu Prenditz (bei Znaim in Mähren), zur praktischen Ausführung veranlaßte. Diwisch mußte den Ableiter aber schon nach zwei Jahren wieder entfernen lassen, weil die Bauern behaupteten, die Wetterstange trage die Schuld an dem trockenen Jahre (1756). In England fand der Blitzableiter 1762 seine Einführung, 1769 in Deutschland, 1784 in Frankreich usw.

Im Jahre 1752 gelang es Le Monnier nachzuweisen, daß die Luft stets elektrisch ist, auch dann, wenn keine Gewitterwolken vorhanden sind. Mit ähnlichen Studien be-

Digitized by Google

schäftigte sich auch der Turiner Professor Beccaria (1716 bis 1781), der eine Theorie der Gewitter aufzustellen suchte, ohne sich jedoch in solchen Fragen zu voller Klarheit durchzuringen, da er (1758) glaubte, die Erdbeben entstünden durch einen Ausgleich der atmosphärischen und irdischen Elektrizität.

Im gleichen Jahre wie Franklin hatte auch de Romas (†1776) ähnliche Versuche mit einem Drachen angestellt. Es ist ganz erstaunlich, wie tollkühn man experimentierte, erhielt doch de Romas gelegentlich Funken von zehn Fuß Länge. Ein Unglück war schließlich unvermeidlich. Der schon erwähnte Physiker Richmann in Petersburg, der mit einem isolierten Blitzableiter, seinem „Gnomon Electricitatis", Untersuchungen anstellte, kam am 6. August/26. Juli 1753, als ein Gewitter über Petersburg zog, der Stange des Apparats zu nahe und wurde in Gegenwart des akademischen Kupferstechers Sokolow „durch einen bläulichen faustgroßen Feuerball" getötet. Das tragische Ende Richmanns diente für alle späteren Versuche zur Warnung.

Die tötende Wirkung starker elektrischer Entladungen hatte schon Nollet an kleinen Tieren demonstriert. Sonst wußte man nur wenig Bestimmtes über die physiologischen Wirkungen der Elektrizität. Der Universitätsarchivar Pivati (1689—1764) zu Bologna glaubte, durch Berühren mit einem elektrisierten, peruanischen Balsam enthaltenden Glaszylinder Krankheiten heilen zu können. Der Arzt Kratzenstein (1723—95) hat angeblich schon 1744 einen gelähmten Finger durch Elektrizität kuriert. 1745 veröffentlichte er eine „Abhandlung vom Nutzen der Elektrizität in der Arzneiwissenschaft". Über dasselbe Thema schrieb auch (1748) Jallabert (1712—68) in Genf und (1751) der Arzt Bohadsch (1724—68) in Prag. Nollet glaubte auch, man könne durch Elektrizität das Wachstum und die Fruchtbildung der Pflanzen günstig beeinflussen. Bertholon z. B. suchte dies (1783) dadurch zu erreichen, daß er, auf einem isolierenden Tisch oder Wagen stehend, seine Kulturen mit Wasser begoß oder bespritzte, das mit dem Konduktor einer Elektrisiermaschine leitend verbunden war.

Der schon früher erwähnte Dr. Bevis gab die Grundform unserer Blätterkondensatoren, die sog. Franklinsche Tafel, indem er eine Glastafel auf beiden Seiten bis auf einen zoll-

Digitized by Google

breiten Rand mit Stanniol beklebte. Der Apparat trägt den Namen Franklins, weil dieser abnehmbare Belegungen benutzte (1749) und damit die Wirkung des Dielektrikums untersuchte. Er gab damit z. B. das bekannte Experiment, das wir heute an einer zerlegbaren Leidener Flasche demonstrieren, aus dem hervorgeht, daß eigentlich das Glas der Träger der Elektrizität ist. Im Jahre 1762 machte Wilke eine seltsame Beobachtung. Er hatte eine Franklinsche Tafel entladen und eine Belegung abgenommen. Sie wies dann wieder Elektrizität auf, und zwar die entgegengesetzte wie vorher an der Tafel. Berührte er die Belegung ableitend und brachte sie wieder an die Glasplatte, so konnte er den Versuch immer wieder von neuem anstellen. Einer Erklärung, die Beccaria für dieses Experiment gab (1769), trat Alessandro Volta (1745—1827) entgegen und wandelte Wilkes Apparat (1775) zu seinem hinreichend bekannten „immerwährenden Elektrophor" um, bei dem er jedoch statt der Glasplatte einen Harzkuchen benutzte. Indem er diesen durch eine dünne Schicht von isolierendem Firnis ersetzte, erhielt er (1782) seinen bekannten „Kondensator", mit dem man Elektrizität, die vermöge ihrer geringen Spannung nicht auf ein Elektroskop wirken kann, zu einer meßbaren Menge anzusammeln vermag. Die direkte Vereinigung des Kondensators mit dem Elektroskop (1787) ergab ein empfindliches Instrument, das wir bei der Besprechung von Voltas Fundamentalversuch noch erwähnen werden. Dem gleichen Zweck wie der Kondensator an diesem Instrument diente der Duplikator (= Doppler) von Bennet (1787), den Nicholson im folgenden Jahre in eine für die Handhabung etwas bequemere Form brachte.

Sehr wichtige Untersuchungen lieferte Coulomb mit seiner schon wiederholt erwähnten, bis heute eigentlich unveränderten Drehwage. Er konnte damit (1788) sein berühmtes Gesetz entdecken und begründen: Die Kraft, mit der zwei elektrische Körper aufeinander wirken, ist ihren Elektrizitätsmengen direkt und dem Quadrate ihrer Entfernung indirekt proportional. Aus diesem Gesetze läßt sich die notwendige Folgerung ziehen, daß die Elektrizität ihren Sitz nicht etwa im Innern, sondern nur auf

Digitized by Google

der Oberfläche eines Leiters haben kann. Eine diesbezügliche Beobachtung hatte schon Gray (1730) gemacht. Er fand nämlich, daß ein hohler Würfel aus Eichenholz ebensoviel Elektrizität aufnehmen konnte als ein solider. Franklin elektrisierte eine isolierte silberne Kanne und senkte eine Kugel an einem Seidenfaden bis auf den Boden hinein. Sie wurde dadurch aber nicht elektrisch. Dieselbe Kanne gebrauchte Franklin auch zum Nachweis der Dichtigkeitsabnahme bei Vergrößerung der Oberfläche. Er zog nämlich eine 2,7 m lange Metallkette, an der zwei Doppelpendel hingen, an einem Seidenfaden aus der elektrisierten Kanne heraus. Die Divergenz der Pendel nahm dadurch ab. Coulomb bewies (1786), daß die Elektrizitätsdichtigkeit auf einem Leiter nur von seiner Form und nicht von seinem Stoff abhängt. Den Sitz der Elektrizität auf der Oberfläche demonstrierte Coulomb auf zweierlei Weise. Er befestigte eine leitende Hohlkugel, die einige größere Löcher hatte, auf einem isolierenden Fuß und elektrisierte sie kräftig. Mit einem kleinen Probescheibchen ließ sich dann Elektrizität nur auf der äußeren Fläche nachweisen. Elektrisierte Coulomb eine isolierte Metallkugel und umgab sie dann mit zwei genau umschließenden isolierten Halbkugeln, so wiesen diese die Elektrizität auf. Elektrisierte Coulomb andrerseits die Halbkugeln, solange sie noch die Metallkugel umgaben, so war diese unelektrisch, wenn er die Halbkugeln wegnahm.

In der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts gelang es, den engen Zusammenhang zwischen elektrischen und chemischen Erscheinungen zu erkennen bzw. durch Elektrizität chemische Prozesse einzuleiten. Henry Cavendish (1731—1810) ließ z. B. durch Luft den elektrischen Funken schlagen und konstatierte eine Volumverminderung sowie die Bildung von Salpetersäure. Diese Ergebnisse blieben aus bei phlogistisierter bzw. dephlogistisierter Luft (Stick-

Digitized by Google

stoff bzw. Sauerstoff) allein. Außer dieser Neubildung eines zusammengesetzten Körpers aus einfachen unter dem Einfluß des elektrischen Funkens gelang es auch, eine Zerlegung durch die Elektrizität zu erreichen. Paetz van Troostwyk (1752—1837) und Deimann (1753—1808) ließen nämlich zahlreiche Entladungen einer Batterie zwischen zwei Drähten mit 3 mm Abstand in Wasser übergehen und beobachteten dabei dessen Zerlegung (1789). Zwölf Jahre darauf bemerkte Wollaston (1766—1828) die Abscheidung von Metallen aus ihren Lösungen durch den elektrischen Funken. Er ließ nämlich den 2,5 mm langen Funken einer Elektrisiermaschine auf einen von zwei Silberdrähten schlagen, während der andere zur Erde abgeleitet war. Die 0,2 mm dicken Drähte waren fast völlig mit Siegellack überzogen und tauchten in eine Kupfervitriollösung. Schon nach hundert Umdrehungen wurde an der negativen Elektrode Kupfer abgeschieden, das sich aber sofort wieder auflöste, wenn man die Pole vertauschte. Verwendete Wollaston zu dem gleichen Versuche Quecksilberchlorid und Golddrähte, so wurde die negative Elektrode amalgamiert.

Die Gesetze für derartige Erscheinungen konnten erst gegeben werden, als man über konstante elektrische Ströme verfügen konnte. Die ersten diesbezüglichen Beobachtungen fallen eigentlich schon in die bisher betrachtete Zeit. Wir werden aber erst später im Zusammenhang davon reden und hier nur noch auf einige eigenartige Elektrizitätsquellen hinweisen.

Die rätselhaften Schläge des Zitterrochen waren, wie erwähnt, schon dem Altertum bekannt, ohne daß man sie sich erklären konnte. Im Jahre 1671 hatte Richer in den Gewässern von Südamerika ein Tier mit ganz ähnlichen Eigenschaften entdeckt, den Zitteraal (Gymnotus electricus), den A. van Berkel (1680) zuerst beschrieb. Zu einer Zeit, da elektrische Erscheinungen im Vordergrunde des Interesses standen, entdeckte (1751) der Botaniker Adanson aus Paris den Zitterwels (Malapterurus electricus) und verglich dessen lähmenden Schlag mit der Erschütterung beim Entladen einer Kleistschen Flasche. Denselben Vergleich stellte 's Gravesande (1755) auch für den Zitteraal an. Im Jahre 1755 gelang es John Walsh († 1795) nachzuweisen, daß es sich wirklich beim Rochen um elektrische Schläge handle.

Digitized by Google

Es gelang nämlich, die Empfindung durch eine Menschenkette zu leiten, deren Endpersonen den Fisch auf der oberen und unteren Seite berührten. Erfolgte die Entladung durch einen Stanniolstreifen, der an einer Stelle unterbrochen war, so trat dort bei jedem Schlag ein kleiner elektrischer Funke auf. Die Frage war damit in rein physikalischer Hinsicht gelöst. Erst 1773 veröffentlichte der berühmte Anatom John Hunter eine treffliche Beschreibung der elektrischen Organe des Zitteraals.

Das Entstehen elektrischer Ladungen bei Versuchen mit geschmolzenen Substanzen zeigte Wilke (1757). Wurde geschmolzener Schwefel z. B. in eine Glasschale gegossen und dann beim Erkalten mit einem Glasstabe herausgehoben, so besaßen Schwefel und Glasschale starke, entgegengesetzte Elektrizitäten. Auch bei anderen Körpern zeigten sich ähnliche Erscheinungen. Die Substanz des Gefäßes bedingte die Art der erzeugten Elektrizität. Ebenso interessant ist die Pyroelektrizität der Kristalle, die sich erstmals in dem Buche des sächsischen Stabsmedikus Daumius „Curiöse Speculationes bei schlaflosen Nächten“ (1707) erwähnt findet. Es wird dort mitgeteilt, der 1703 von den Holländern aus Ceylon mitgebrachte Turmalin ziehe erhitzt leichte Aschenteilchen an und stoße sie dann wieder ab („Aschentrecker“), wie dies Juweliere beobachten, die den Kristall zur Härteprüfung auf glühende Kohlen legen. Der Turmalin wurde zuerst für magnetisch gehalten und darum „Ceylonscher Magnet“ genannt, während ihn Linné im Jahre 1747 in seiner „Flora ceylanica“ ohne jede weitere Begründung als „Lapis electricus“ anführte. Daß er diesen Namen wirklich verdient, wies Aepinus erst 1756 nach. Wurde der Kristall ungleich erwärmt, so wurde die eine Hälfte positiv, die andere negativ elektrisch. Erst im neunzehnten Jahrhundert hat man genauere Untersuchungen über die Kristallelektrizität angestellt.

Das neunzehnte Jahrhundert.

Die Mechanik.

Schon bei der Besprechung der Mechanik des achtzehnten Jahrhunderts mußten wir einen großen Teil dieses Zweiges der Physik völlig unberücksichtigt lassen, um

Digitized by Google

unsere Betrachtungen nicht zu sehr ausdehnen und Fragen behandeln zu müssen, die weniger allgemeines als mathematisches oder überhaupt theoretisches Interesse zu finden pflegen. Auch für das neunzehnte Jahrhundert werden wir uns vor allem mit der experimentierenden Mechanik befassen.

An erster Stelle wollen wir uns den Versuchen zuwenden, die weitere unumstößliche Beweise für die Lehre des Coppernicus gegeben haben. Newton hatte bereits erkannt, daß ein von einem Turme fallender Körper nicht westlich hinter dem Turme zurückbleiben muß, wie die Gegner des Coppernicus gemeint, sondern im Gegenteil ihm sogar nach dem Beharrungsgesetz gegen Osten zu vorauseilen muß. Guglielmini († 1817) bestätigte dies 1790—91 durch Fallversuche an dem Turme degli Asinelli zu Bologna, ebenso der Gymnasialprofessor Benzenberg (1777—1846) durch ähnliche Experimente am Michaelisturm zu Hamburg (1802) und im Kohlenschacht zur alten Roßkunst in Schlebusch (1804), und schließlich noch Ferdinand Reich (1799—1882) im Dreibrüderschacht zu Freiberg (1831). Von Reich stammen auch Messungen der mittleren Erddichte (1838 und 1852) unter Benutzung der Drehwage. Airy verwendete zum gleichen Zwecke Pendelschwingungen an der Erdoberfläche und in Bergwerksschachten (1826—28 und 1854). Jolly (1809—84) maß die Erddichte durch Wägungsversuche (1878), Wilsing in Potsdam mit einer großen vertikalen Drehwage (1887). Die neusten Messungen sind von Poynting (1891), Boys (1894), sowie von Richarz und Krigar-Menzel (1896).

Von bedeutenderem Interesse für das große Publikum war der berühmte Pendelversuch von Foucault (1819—68). Ein Pendel hat nämlich das Bestreben, seine Schwingungsebene andauernd beizubehalten, wie sich leicht durch Aufsetzen auf eine Zentrifugalmaschine zeigen läßt. Rotiert nun die Erde wirklich von Westen nach Osten, so muß sich die Schwingungsebene scheinbar drehen und zwar auf der nördlichen Erdhälfte im Sinne des Uhrzeigers. Foucault konnte dies wirklich zeigen, zuerst mit einem 2 Meter langen und 5 kg schweren Pendel in einem Keller und dann mit einem anderen von 11 m Länge im Meridiansaal der Pariser Stern-

Digitized by Google

warte (1850). Die scheinbare Drehung der Schwingungsebene erwies sich stets, der Theorie entsprechend, dem Sinus der geographischen Breite proportional[1]). Der äußerst instruktive Versuch wurde häufig gezeigt, z. B. im Pantheon, im Ausstellungspalast zu Paris (1855), ferner in den Domen zu Köln und Speyer. Zur Beseitigung der auftretenden Erklärungsschwierigkeiten verbesserte Foucault den (1817) von Bohnenberger (1765—1831) in Tübingen ersonnenen Rotationsapparat zur Erläuterung der Erdumdrehung (Foucaults Gyroskop 1852), dem 1853 Friedrich Fessel (g. 1821) eine noch etwas zweckmäßigere Form gab.

Klassische Pendelstudien stammen von Friedrich Wilhelm Bessel (1784—1846) mit seiner „Untersuchung der Länge des Sekundenpendels" (1826). Er beobachtete die Schwingungszeiten T und t zweier Pendel mit dem Längenunterschied λ, wodurch sich die sehr schwierige Längenbestimmung umgehen läßt. Bessel erhielt dann mit außerordentlicher Genauigkeit die Beschleunigung für den freien Fall nach der Formel

$$g = \frac{\pi \cdot \lambda}{T^2 - t^2} .$$

Diese Größe ist, wie schon Newton gelehrt und geprüft hatte, für die verschiedensten Körper dieselbe. Bessel wies dies durch Schwingen von Pendelkugeln aus Metallen, Glas, Elfenbein usw. aufs überzeugendste nach (1839).

Verhältnismäßig einfach läßt sich die Länge des Sekundenpendels mit dem von Bohnenberger (1811) beschriebenen Reversionspendel bestimmen, wie dies Kater (1777—1835) getan hat (1818). Dieser Apparat geht, wie bereits früher erwähnt wurde, im Prinzip auf Huygens zurück.

Die Elastizität ist im neunzehnten Jahrhundert der Gegenstand bedeutender experimenteller und theoretischer Untersuchungen gewesen. Letztere gehen bis auf Fresnel (1788 bis 1827) zurück, werden aber nicht weiter von uns behandelt.

[1]) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 92, S. 124 f.

Digitized by Google

Die Grundlagen für absolute Messungen elastischer Kräfte schuf der Arzt Thomas Young (1773—1819) durch Aufstellung genauer Definitionen der Grundbegriffe z. B. für den Elastizitätskoeffizienten (1807). Die umfassendsten Experimentaluntersuchungen stellte Wilhelm Wertheim (1815—61) seit dem Jahre 1844 an. Die von Wilhelm Weber (1804—91) an Seidenfäden zuerst beobachtete elastische Nachwirkung (1835) behandelten besonders Rudolf Clausius (1822—88) und F. Kohlrausch (g. 1840).

Mit der Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten hatte sich schon die Accademia del Cimento befaßt. Wesentlich besser war das positive Resultat, das Canton (1761) erhielt, als er Wasser durch Luft komprimierte, wobei jedoch die Ausdehnung des Druckgefäßes störte. Oersted (1777—1851) vermied diesen Fehler durch Einsetzen der Komprimiervorrichtung in Wasser (1822). Die Zusammendrückbarkeit erwies sich als äußerst gering. Der Name „Piëzometer" für das verwendete Instrument stammt übrigens nicht von Oersted, sondern von Colladon (1802—93) und Sturm (1803—55), die (1827) ähnliche Untersuchungen anstellten. Dem Ausfluß durch Kapillarröhren sind Arbeiten des Wasserbautechnikers Hagen (1797—1884) gewidmet (1839). Der Mediziner Poiseuille (1799—1869), den Studien über das Eindringen von Arzneistoffen durch die Haut zu diesen Fragen geführt hatten (1840—47), konnte das betr. Gesetz aufstellen. Einen klareren Einblick ermöglichte erst Hagenbach (g. 1833) durch genaue Definition der Konstante für innere Reibung (Viskosität). Gediegene Studien gaben noch (1857) O. E. Meyer (g. 1834) und (1870) Warburg (g. 1846).

Werden zwei mischbare Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewichte sorgfältig übereinander geschichtet, so erfolgt doch nach und nach eine Mischung, die sog. (freie) Diffusion. Sie wurde besonders (1850) durch Thomas Graham (1805—69) mustergültig untersucht. Nollet hatte bereits 1748 wahrgenommen, daß Alkohol und Wasser sich durch eine Schweinsblase hindurch vermengen. Der Arzt Dutrochet (1776—1847) beschäftigte sich genauer mit diesen Strömungen durch eine Membran unter Benutzung der bekannten unten verschlossenen Trichterröhre. Er nannte die Erscheinung „Osmose" und unterschied zwischen „Endosmose" und „Exosmose". Graham wies auf eine hierbei

auftretende Verschiedenheit zwischen zwei Gruppen löslicher Substanzen hin, die er als „Kristalloide" und „Kolloide" (1861) bezeichnete und betonte die Wichtigkeit der dialytischen Reinigung von Kolloiden.

Laplace (1749—1827) hatte 1806/07 die Kapillarität auf zwei Hauptsätze basiert, denen Gauß (1777—1855) den weiteren hinzufügte (1829), daß eine Flüssigkeitsoberfläche stets eine sog. „Minimalfläche" bildet. Experimentaluntersuchungen lieferten zunächst (1833) der Botaniker Link (1767—1851), (1835) Frankenheim (1801—69), (1836) Degen (1802—50) und Plateau (1801—83) in den sechziger Jahren. Die Unrichtigkeit der von Young gemachten Annahme, der Randwinkel bei einer benetzenden Flüssigkeit sei unveränderlich, betonte zuerst (1863 f.) Wilhelmy (1812—64). Sehr eingehende Studien über das ganze Gebiet der Kapillarität, Tropfenbildung, Ausbreitung der Flüssigkeiten usw. liegen von Georg Quincke (g. 1834) vor. Die hinreichend bekannten Versuche Plateaus mit Seifenhäutchen an Drahtgestellen bilden eigentlich nur eine Fortsetzung derjenigen, die Plateau, seit 1843 durch Untersuchungen über subjektive Farben erblindet, „über die Erscheinungen bei einer freien und der Einwirkung der Schwere entzogenen Masse" angestellt hatte, indem er Olivenöltropfen in ein Wasser-Alkoholgemisch vom gleichen spezifischen Gewicht brachte. Durch Rotation der Ölmasse konnten planetenähnliche Gebilde erzeugt werden (z. B. Saturn mit Ring). Ja, es gelang sogar, durch passende Kunstgriffe ein Abbild des Weltsystems zu schaffen. Plateau war sich dessen wohl bewußt, daß dies rein zufällig war und nicht als experimenteller Beweis für die Kant-Laplacesche Theorie angesehen werden darf, wie dies heute sogar noch viele populäre Astronomiebücher angeben.

Kant (1724—1804) hatte, das sei hier nur kurz erwähnt, in seiner „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels" (1755) seine Weltentstehungshypothese aufgestellt, die fast vergessen war, als Laplace (1796) in seiner „Exposition du système du monde" seine in der Hauptsache gleiche, aber unabhängig gefundene Anschauung darlegte[1]).

Zu der Mechanik der Gase übergehend, beschäftigen wir uns zunächst mit der Physik der Atmosphäre, die in den ersten

[1]) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 26, S. 8.

Digitized by Google

Jahrzehnten des Jahrhunderts den tüchtigen Untersuchungen von Dalton (1766—1844) bedeutende Förderung verdankt. Ihm gelang es zunächst, manche Bedenken zu zerstreuen, die bestritten, daß die Luft nur ein Gemenge von Stickstoff, Sauerstoff und wenig Wasserdampf sei, da man doch wegen des verschiedenen spezifischen Gewichts dieser Gase sonst Einzelschichten wahrnehmen müsse. Dalton erkannte, daß man dabei die freie Diffusion nicht berücksichtige, und fand (1807) die wichtige Tatsache, daß zwei Gase, die man irgendwie miteinander in Verbindung setzt, sich völlig vermischen, auch bei gleichen Drucken und verschiedener Dichte. Der resultierende Gasdruck ergab sich gleich der Summe der einzelnen Partialdrucke — natürlich nur, wenn die Gase sich chemisch nicht beeinflußten. Danach gibt die Summe der Drucke von Sauerstoff, Stickstoff und Wasserdampf den Druck der Atmosphäre. Während man früher zu dessen Messung nur das schwer transportable Quecksilberbarometer gebrauchen konnte, gelang in den vierziger Jahren auch die Konstruktion der äußerst handlichen Aneroidbarometer. Der Gedanke eines solchen findet sich schon bei Leibniz (1702) vor; die erste mangelhafte Ausführung stammt von Zeiher (1720—84) aus dem Jahre 1760. Wirklich brauchbar wurde es erst durch Vidi (1844), der eine luftleere Kapsel mit elastischem Deckel benutzte. Schinz verwendete (1845) eine luftleere Metallröhre von elliptischem Querschnitt. Andere Formen gaben (1850) Bourdon (1779—1854) und J. Goldschmidt (1815 bis 1876).

Außer der von Dalton bemerkten „freien Diffusion" der Gase gibt es natürlich auch eine „unfreie" durch Diaphragmen, was um 1830 von Graham konstatiert wurde. Bunsen (1811—99) nahm später diese Untersuchungen, sie teilweise berichtigend, auf („Gasometrische Methoden" 1857). Von ihm stammt bekanntlich ein Verfahren zur Ermittlung von Gasdichten, die nahezu den Quadraten der Ausflußgeschwindigkeiten aus einer engen Öffnung umgekehrt proportional sind, wenn nur der Druck der gleiche ist. Bunsen hat später noch (1883) wichtige Untersuchungen über die Beschaffenheit von Gasen angestellt, die von festen oder flüssigen Körpern verschluckt sind. Solche Absorption war übrigens viel früher (1777) schon von Scheele und Fontana gleichzeitig beobachtet worden, insonderheit für Holzkohle, die frisch

Digitized by Google

geglüht und dann unmittelbar unter Quecksilber abgekühlt worden war.

Um die vom Blute absorbierten Gase zu gewinnen, benötigte der Physiolog Karl Ludwig (1816—95), der Erfinder des Pulsmessers (Kymographion 1847), eine Luftpumpe zur Erzielung einer bedeutenden Luftleere. Auf seine Anregung hin konstruierte Heinrich Geißler (1817—79) in Bonn (1857) nach der Angabe von Pflüger (g. 1828) die erste Quecksilberluftpumpe. Auf dem Prinzipe des sog. negativen (hydrodynamischen) Drucks beruht die 1865 durch Sprengel ersonnene Quecksilberluftpumpe, welche dieselbe Erscheinung verwendet wie die 1858 von Henry Giffard (1825—82) konstruierte Injektor zur Einführung von Speisewasser in Dampfkessel und die 1859 von K. F. Schimper angegebene Blasepumpe (Zerstäuber).

Dem Apparate Sprengels ist die von Bunsen (1869) eingeführte Wasserluftpumpe durchaus analog. Sie wurde später noch mehrfach verbessert (z. B. von Arzberger und Zulkowsky) und bildet ein wichtiges Gerät für das Laboratorium, weil sie auch für Gebläse zu gebrauchen ist. Allerdings kann man nur einen geringen Grad von Luftverdünnung mit Bunsens Pumpe erzielen, für ein hohes Vakuum benutzt man immer nur die Quecksilberpumpe. Neuerdings greift man gelegentlich auch wieder auf ein schon von Davy (1778—1829) angewandtes Verfahren (1799) zurück. Er füllte nämlich den Rezipienten mit Kohlensäure, evakuierte dann so gut als möglich und beseitigte den letzten Rest des Gases auf chemischem Wege durch Ätzkali.

Bei der technischen Verwendung der Luftpumpe denkt man meist nur an Glühlampen und Röntgenröhren der neueren Zeit, und vergißt die von Eduard Howard schon 1812 für die Zuckersiedereien eingeführten Vakuumdampfapparate, um die Bildung von Karamel zu verhüten, sowie die Einrichtung der sog. Rohrpost. Schon 1810 hatte der Engländer Medhurst empfohlen, in einer Röhre die Luft zu verdünnen und so einen dichtschließenden Behälter durch den einseitig wirkenden Atmosphärendruck zu bewegen. Im Jahre 1838 verwendeten die englischen Ingenieure Samuda und Clegg diesen noch durch Vallance und Pinkus veränderten Vorschlag bei der Wormwood Scrubsbahn bei London, doch konnte eine den Kosten entsprechende Rohrpost erst 1853

Digitized by Google

durch Latimer Clark in London zur Ausführung kommen. Bekanntlich sollte auch die Jungfraubahn als pneumatische gebaut werden nach dem Vorschlage von Locher, man entschied sich jedoch für die Ausführung als elektrische Adhäsions- und Zahnradbahn nach dem Entwurf von Guy-Zeller (gest. 3. März 1899).

Interessante Aufschlüsse über unsere Atmosphäre verdankt das neunzehnte Jahrhundert den unzähligen Fahrten mit dem Luftballon. Der Aeronaut Robertson war am 18. Juli 1803 zu Hamburg bis zu einer Höhe von 7400 m (?) aufgestiegen und glaubte dabei eine Abnahme in der Stärke des Erdmagnetismus u. dgl. beobachtet zu haben. Da man dies jedoch anzweifelte, veranstaltete die Pariser Akademie der Wissenschaften eine Luftreise, zu der Biot und Gay-Lussac gewählt wurden. Der Aufstieg erfolgte am 23. August 1804. Man erreichte 3977 m Höhe, während Gay-Lussac auf einer zweiten, allein unternommenen Reise am 9. September 1804 bis zu 7016 m kam. Robertsons Beobachtungen erwiesen sich als Täuschungen, daneben erhielt man reiches Material über die konstante Zusammensetzung der Luft, über Temperaturverteilung, elektrischen Zustand usw. Bei den Fahrten von Bixio (1808—65) und Sacharow in Petersburg war die Ausbeute geringer. Die ersten wissenschaftlichen Fahrten auf breiterer Basis wurden in den Jahren 1862—63 durch James Glaisher (1809—74) und Coxwell unternommen, ferner (1867) durch Flammarion (g. 1842), durch Tissandier (1843—75) und de Fonvielle (g. 1828). Schon in den sechziger Jahren hatten sich Gesellschaften für wissenschaftliche Aeronautik gebildet, denen wir manche Bereicherung unseres Wissens über die Physik der Atmosphäre verdanken. Von ganz besonderer Bedeutung sind die internationalen Ballonfahrten, die Professor Hergesell in Straßburg (1896) ins Leben gerufen hat[1]). Auch für die geographische Forschung suchte man den Ballon zu verwenden. Am 11. Juli 1897 stieg nämlich der schwedische Ingenieur Salomon August Andrée mit zwei Genossen, Strindberg und Fraenkel, von Spitzbergen mit seinem Ballon „Örnen" (= Adler) auf, um durch den Wind getrieben den Nordpol zu erreichen. Der tollkühne Forscher ist seither völlig verschollen und hat sein zu sehr verfrühtes Unternehmen zweifellos mit dem Leben bezahlt.

[1]) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 54, S. 25.

Digitized by Google

Schon bei der Hochfahrt (8500 m) von Glaisher und Coxwell (1862) wurde man darüber belehrt, daß zur Verhütung von Bewußtlosigkeit künstliche Sauerstoffzuführung bei sehr großen Aufstiegshöhen notwendig wird. Am 4. Dezember 1894 hatte Berson als alleiniger Balloninsasse eine Höhe von 9150 m bei einer Temperatur von —47° erreicht. Bei einem Aufstieg von Berlin aus mit Süring in einem 8400 cbm haltenden Ballon erzielte er sogar am 31. Juli 1901 eine Maximalhöhe von 10 500 m.

Von einem an Seilen gehaltenen Fesselballon machten schon die Franzosen in den Revolutionskriegen in Belgien und am Rhein Gebrauch, während der „Ballon captif", den Giffard 1865 in London und 1867 auf der Weltausstellung zu Paris steigen ließ, nur Vergnügungszwecken diente. Die Kugelgestalt des Ballons erwies sich dabei stets als sehr unpraktisch wegen des Winddrucks. Der 1902 in Holland auf einer Luftreise verunglückte Hauptmann von Sigsfeld hat daher den sog. Drachenballon konstruiert, bei dem das Prinzip des bekannten Kinderspielzeugs eine interessante praktische Anwendung findet. Dieser Fesselballon bewährt sich im deutschen Heere ausgezeichnet für Rekognoszierungszwecke, so daß ihn auch fremde Armeen angenommen haben.

Einem militärischen Bedürfnis scheint das Problem des lenkbaren Luftschiffs entsprungen zu sein. Ein solches Fahrzeug war schon der Wunsch Napoleons I., der damit über die Flotte Englands hinweg dessen Küste erreichen wollte. Bei der Belagerung von Paris im Kriege 1870—71 gewann das Problem wieder an Interesse, die französische Regierung spornte sogar durch einen Preis zu einschlägigen Arbeiten an. Wir können auf die zahlreichen Einzelversuche hier natürlich nicht weiter eingehen und begnügen uns auf den Grafen von Zeppelin und Santos Dumont hinzuweisen. Das Luftschiff Zeppelins hatte eine Länge von 128 m und faßte 11 000 cbm Gas. Am 2. Juli 1900 stieg es mit dem Erfinder über dem Bodensee bis zu einer Höhe von 400 m auf, fiel aber dann nach einer kurzen Fahrt während eines sehr schwachen Winds, ohne Schaden zu erleiden, auf den See. Beim zweiten und dritten Aufstieg (Oktober 1900) stellten sich mehrfach Mängel ein. Ein wirklicher Erfolg steht bis heute noch aus, da auch der neuste Aufstieg (Januar 1906) die Lenkbarkeit nicht erwiesen hat. Eine Störung an den Luftschrauben und dem

Digitized by Google

Seitensteuer nötigte nach etwa einstündiger Fahrt zur Landung auf der Erde. Hoffentlich werden die Versuche noch fortgesetzt. Als einigermaßen lenkbar muß das Luftschiff des jungen Brasilianers Santos Dumont bezeichnet werden. Er konnte damit am 19. Oktober 1901 vom Park des Aeroklubs zu Saint-Cloud aus den Eiffelturm umsegeln und gegen den Wind zurückkehren, wofür ihm der Henri Deutsch-Preis von 100 000 Franken zuerkannt wurde, obwohl nicht alle gestellten Bedingungen erfüllt worden waren. Die weiteren Versuche von Santos Dumont sind hinter dem ersten sehr zurückgeblieben.

Noch weit schwieriger als das lenkbare Luftschiff ist das Flugproblem. Die dynamische Flugschiffahrt, die den Menschen um so mehr anzieht, als 62 Prozent aller Lebewesen fliegen können, geht auf den mythischen Dädalus mit seinem Sohne Ikarus zurück und zeigt uns eine große Reihe mehr oder minder phantastischer Flugapparate. Sehr bekannt ist die Flugmaschine, die der 1756 geborene „bürgerliche Uhrmacher" Jakob Degen in Wien von 1808—13 vorführte, bei der aber das Körpergewicht des Insassen durch ein an der Decke des Saales angebrachtes Gegengewicht erleichtert war. Nur einem Manne ist es bis jetzt gelungen, fallschirmartig von einem höheren Standort herabzufliegen, dem Ingenieur Otto Lilienthal (1848—96) zu Berlin. Nur er hat wirklich brauchbare Flugmaschinen konstruiert. Sein letzter Apparat mit zwei übereinander gebauten Flügeln von 18 qm Oberfläche erlaubte ihm, in wellenförmigen Kurven mit einer Geschwindigkeit von 10 Metern in der Sekunde gegen den Wind zu fliegen. Doch war er nicht stabil genug gebaut. Am 10. August 1896 überschlug er sich bei einem Versuche in beträchtlicher Höhe. Lilienthal fiel zu Boden und erlitt einen tödlichen Bruch der Wirbelsäule.

Die Akustik.

Die ersten Jahrzehnte des neunzehnten Jahrhunderts kennen die Akustik eigentlich nur als ein Anhängsel der Mechanik, weil man an keine Physik der Tonempfindungen dachte. Erst Hermann von Helmholtz (1821—94) lieferte den Nachweis für eine solche und hob damit die

Digitized by Google

Akustik als besondere physikalische Disziplin hervor. Bei der zunehmenden Bedeutung der Wellenbewegung für die ganze Physik lag es nahe von Überlegungen auszugehen, wie sie sich am akustischen Problem mit Leichtigkeit anknüpfen ließen. Wir sehen daher wiederholt, wie Fragen der Optik, Wärme- und Elektrizitätslehre durch ähnliche akustische Untersuchungen bedeutend gefördert werden.

Den ersten tieferen Einblick in die Natur der Wellenbewegung gaben die Gebrüder Weber, Wilhelm Eduard (1804—91) und Ernst Heinrich (1795—1878), durch die Veröffentlichung ihres Werkes: „Die Wellenlehre auf Experimente gegründet" (1825). Als Apparat diente ihnen die bekannte Wellenrinne, mit der sie die Form der Oberfläche, die Bahn der schwingenden Teilchen, die Fortpflanzung, Reflexion und Interferenz von Wellen genau studierten. Die für das inkompressible Mittel erforschten Tatsachen verstanden die Gebrüder Weber auch zur Erklärung für ein elastisches Medium geschickt zu verwerten.

Wir haben schon früher erwähnt, daß Laplace (1816) die Korrektion der Newtonschen Formel für die Schallgeschwindigkeit gegeben hat. Es wurden zunächst von vielen Forschern Einwürfe dagegen erhoben, so z. B. von Benzenberg, der 1809 und 1811 diese Größe gemessen hatte. Erst nach und nach verstummten die Ausstellungen gegen Laplaces Ansicht. Aus der Folgezeit nennen wir noch die von Arago (1786—1853) geleiteten Messungen der Pariser Akademie, an denen sich auch Alexander von Humboldt (1769—1859) beteiligte (1822), sowie diejenigen (1824) der Holländer Moll (1785—1838) und van Beek (1787—1856). Nicht ganz einwandsfrei sind die von Regnault (1810—78) im Jahre 1868 in den 1862—63 neugelegten Röhren der Pariser Wasserleitung ausgeführten Messungen. Sehr bequem ist das auch für Gase und Dämpfe geeignete Verfahren der Staubfiguren (1866)

Digitized by Google

von Kundt (1838—94), das auch die Schallgeschwindigkeit in festen Körpern mit Leichtigkeit zu bestimmen gestattet.

Im Jahre 1826 bemerkte Savart (1791—1841), daß Flüssigkeiten den Schall in derselben Weise leiten wie feste Substanzen. Genaue Untersuchungen, die zugleich die Geschwindigkeit des Schalls für Wasser ergaben, stellten (1827) Colladon und Sturm im Genfer See zwischen Rolle und Thonon an, indem sie eine Glocke unter Wasser anschlugen und mit einem hörrohrähnlichen Instrument den Ton in 13487 Meter Entfernung nach $9^1/_4$ bis $9^1/_2$ Sekunden hörten.

Wir haben schon früher einige Verfahren zur indirekten Bestimmung der Schwingungszahl eines Tones besprochen. Die erste direkte Zählung wurde 1819 durch die „Sirene" von Charles Cagniard-Latour (1777—1859) ermöglicht. Seebeck (1805—49), Savart, R. König (g. 1832) und Helmholtz haben dieses Instrument in der Folgezeit mannigfach verändert. In sehr interessanter Weise wurde die absolute Schwingungszahl von Tönen durch den ehemaligen Seidenwarenhändler Scheibler (1777—1838) bestimmt (1834), sowohl durch Benutzung einer Reihe von Stimmgabeln, als auch mit einem Monochord und einer Stimmgabel. Beide Verfahren stützen sich ebenso wie seine Methode zur Reinstimmung von Tönen im Prinzip auf das Auftreten von Schwebungen.

Mit einer anderen Interferenzerscheinung machte uns Hopkins bekannt. Ähnlich wie Chladni Schwingungen von Platten durch Sand demonstriert hatte, tat dies Savart bei tönenden Pfeifen mittels eines dünnen mit feinem Sand bestreuten Häutchens. Hopkins (1793—1866) modifizierte (1838) diesen Versuch, blies auch die Pfeife nicht an, erzeugte vielmehr den Ton durch eine unter ihr angebrachte Glasplatte, die mit einem Geigenbogen gestrichen wurde. Bei geeigneter Stellung traten Interferenzerscheinungen ein. Solche erhielt er besonders leicht mit der bekannten unten gegabelten Röhre, die oben durch eine Membran verschlossen ist. Bequemer und auch sonst verwendbarer als dieses Instrument ist die

Digitized by Google

Interferenzröhre von Quincke, bei der sich die beiden Schallwege um eine halbe Wellenlänge unterscheiden.

Im Jahre 1843 hatte Ohm (1787—1854) eine Erklärung von der Zusammensetzung der Klänge entwickelt, deren Richtigkeit Helmholtz in seinem wahrhaft klassischen Werke „Die Lehre von den Tonempfindungen" (1. Aufl. 1863) darlegte und durch eigene äußerst gründliche und umfassende Forschungen zu einer physikalischen Theorie der Musik erweiterte. Als sehr geeignet für seine Experimentalstudien erwies sich sein Resonator. Helmholtz untersuchte die Klangfarbe der einzelnen musikalischen Instrumente, sowie die Zerlegung und Bildung der Vokale. Letztere erzielte er mit Hilfe seines bekannten elektromagnetischen Stimmgabelapparates. Seine weiteren Forschungen beziehen sich auf die Schwebungen und auf die Kombinationstöne, worunter er die schon länger bekannten Differenz- und die von ihm entdeckten Summationstöne verstand. R. König bestätigte (1876) mit Stimmgabeln und ebenso Robert Weber (g. 1850) mit seiner elektrischen Sirene das Auftreten der Summationstöne. Quincke konnte mit seiner Interferenzröhre die objektive Existenz der Kombinationstöne nachweisen.

Helmholtz machte auch den Vorgang des Hörens zum Gegenstand eingehender Studien. Es gelang ihm die Bedeutung des sog. Cortischen Organs im Ohr richtig aufzufassen. Der Marchese A. Corti hatte (1851) diesen wichtigsten Teil des Labyrinths ausführlich beschrieben, ohne jedoch über seinen wahren Zweck Klarheit zu besitzen. Helmholtz erklärte die Schallperzeption durch eine Art Resonanzerscheinung der Fasern des Cortischen Organs. Über die obere und untere Grenze der Hörbarkeit von Tönen stellte zuerst Savart seit 1830 und später noch A. Appun (g. 1839) Experimentalstudien an. Danach kann das Ohr Töne wahrnehmen, deren Wellenlänge in Luft zwischen 8 mm und 11 m liegt, was etwa 11 Oktaven entspricht, von denen jedoch nur 7 musikalisch verwertet werden. Für Töne, die selbst unser Ohr nicht mehr wahrnehmen kann, sind die sog. sensitiven Flammen empfindlich. Graf Schaffgotsch (1816—64) hatte 1857 bemerkt, daß die Flamme der 1777 von Bryan Higgins angegebenen chemischen Harmonika durch andere Töne stark beeinflußt wurde. Genauere Untersuchungen unter-

Digitized by Google

nahm (1867) Tyndall (1820—93) auf Veranlassung seines Assistenten Barret (g. 1844).

Die vielgestaltige Wellenbewegung, die zum Verständnis akustischer Phänomene unbedingt bekannt sein muß, bietet überall da Schwierigkeiten in der Erklärung, wo die nötige mathematische Schulung fehlt, und hat das Bedürfnis nach geeigneten Demonstrationsapparaten gezeitigt. Die Gebrüder Weber benutzten die erwähnte Wellenrinne, Johann Müller (1809—75) die stroboskopische Scheibe (1846). Wheatstone (1802—75) ersann eine Wellenmaschine, die 1851 durch Fessel verbessert wurde. Ähnliche Apparate stammen von Mach (g. 1838) 1871, Melde (g. 1832) 1874 und Pfaundler (g. 1839) 1887. Die Zusammensetzung von Schwingungen demonstrierte Lissajous (1822—80) mit einem Instrument (1855), das Helmholtz zu seinem Vibrationsmikroskop abänderte. Lissajous prüfte mit seinem Apparat Normalstimmgabeln, die nach einer Verordnung vom 16. Februar 1859 für Frankreich das Normal-a von 870 (halben) Schwingungen in der Sekunde geben sollten. Der Vorschlag zu einer allgemeingültigen Festsetzung stammt wohl von Scheibler (1834), weil an den einzelnen Opern bezüglich des Normaltons ganz bedeutende Unterschiede vorhanden waren. Mit dem Beschluß von 1859 war der Mißstand übrigens nicht behoben. Erst 1885 wurde durch die internationale Stimmtonkonferenz zu Wien als Kammerton a_1 mit 435 ganzen Schwingungen von allen Ländern angenommen.

Wilhelm Weber (1830) benutzte erstmals das Verfahren, eine Stimmgabel ihre Schwingungen auf einer berußten Glastafel aufschreiben zu lassen. Duhamel (1797 bis 1872) gebrauchte dazu die viel zweckmäßigere berußte Trommel (1842). Wertheim kehrte (1842) das Verfahren um, um die Länge eines Zeitraums aus der Zahl der inzwischen erfolgten Schwingungen einer Stimmgabel zu ermitteln. Diesen Gedanken hat man in der Folgezeit mehrfach aufgegriffen und zahlreiche Vibrationschronoskope konstruiert. Wir nennen nur diejenigen von Wheatstone, Werner Siemens (1816—92) 1845, Hipp (1813—93) 1848, Laborde 1860, Beetz (1822—86) 1868 und besonders das Instrument von R. König.

Scott ließ (1859) die Schwingungen dünner Häutchen in seinem Membranophon oder Phonautographen durch einen

Digitized by Google

kleinen Metallstift auf einem rotierenden Zylinder aufschreiben. König verwendete zum gleichen Zwecke seine manometrischen Flammen (1865), deren Bild er in einem rotierenden Spiegel betrachtete, wie ihn Wheatstone schon 1834 zur Messung der Elektrizitätsgeschwindigkeit benutzt hatte. Dem Instrumente von Scott im Prinzip durchaus ähnlich, jedoch auch zur Wiedergabe von Tönen eingerichtet, ist der allbekannte Phonograph, den Thomas Alva Edison (g. 1847) im Jahre 1877 beschrieb und 1878 erstmals in Europa vorführte. Der Apparat ist mehrfach verbessert und umgestaltet worden (Grammophon von Berliner 1888).

Die Wärmelehre.

Das achtzehnte Jahrhundert kennt, von wenigen vereinzelten Forschern abgesehen, die Wärme nur als einen jedem Körper beigegebenen Stoff. Nimmt seine Quantität zu oder ab, so wird der Körper wärmer oder kälter. Diese Stofftheorie hatte etwas sehr Bestechendes, sie erlaubte allgemeinverständliche elementare Erklärungen aller kalorischen Erscheinungen unter Benutzung bequemer, der Hydromechanik entliehener Ausdrücke. Allerdings führte diese Stofftheorie mit logischer Konsequenz auch auf eine Hauptschwierigkeit, der sie nicht gewachsen sein konnte. War die Wärme wirklich ein Stoff, so durfte in einem thermisch isolierten Körper nicht beständig Wärme neu erzeugt werden, ohne der Umgebung in gleicher Menge entzogen zu werden. Bei dem geringen Interesse, das man zu jenen Zeiten der Physik des täglichen Lebens entgegenzubringen pflegte, übersah man, daß die durch Reiben der kalten Hände im Winter erzeugte Wärme für die Stofftheorie einen Widerspruch lieferte. Einen solchen konnte in ganz besonders anschaulicher Weise Benjamin Thompson (1753—1814) geben. Er war 1783 in die Dienste des bayerischen Kurfürsten Karl Theodor getreten, der ihn in den Reichsgrafenstand erhob und ihm den Titel

Digitized by Google

Graf von Rumford verlieh, unter dem er am bekanntesten geworden ist. Wir wollen daher auch diesen Namen gebrauchen. Seine ersten hier anzuführenden Beobachtungen machte er 1778 anläßlich der Messungen von Geschwindigkeiten der Kanonenkugeln. Er fand nämlich, daß der Geschützlauf bei einem blinden Schuß sich bedeutend stärker erhitzte als bei einem scharfen, während man doch eher das Gegenteil hätte erwarten sollen. Besonders fruchtbringend waren die systematisch angestellten Versuche, als er im Militärzeughaus zu München bemerkt hatte, daß beim Bohren von Kanonen bedeutende Wärmemengen frei werden, ohne daß sich die Wärmekapazität der Metallspäne ändert. Da die Erwärmung auch unter Wasser erfolgte und keinerlei chemische Veränderung zu bemerken war, mußte Rumford den Grund der Wärmeerzeugung lediglich in der Bewegung des Bohrers erblicken. Davy modifizierte diesen Versuch (1799), indem er unter dem Rezipienten einer Luftpumpe bei etwa -2^0 C zwei Eisstücke durch ein Uhrwerk aneinanderreiben ließ und sie dadurch zum Schmelzen brachte; das Schmelzwasser zeigte etwa $+2^0$ C. Es lag ein offenbarer Widerspruch mit der Stofftheorie vor, denn die spezifische Wärme des Eises ist kleiner als die des Wassers.

Trotz der außerordentlichen Beweiskraft dieser Experimente ließen die Physiker die alte, liebgewordene Stofftheorie nicht fallen. Es bedurfte weiterer Gegenbeweise von anderer Seite. Friedrich Wilhelm Herschel (1738—1822) hatte bei der Beobachtung der Sonne durch verschieden gefärbte Gläser nicht stets die gleiche Wärmeempfindung gehabt, hinter helleren war sie häufig schwächer als hinter dunkleren. Um Klarheit zu erhalten, untersuchte er (1800) mit einem Thermometer, dessen Kugel berußt war, die Temperatur der einzelnen Farben im Sonnen-

Digitized by Google

spektrum. Sie erwies sich im Rot besonders hoch, ihr Maximum hatte sie jedoch im unsichtbaren Teil jenseits desselben, im Ultrarot. Herschel hatte damit gleichzeitig die Existenz dunkler Wärmestrahlen und einen der beiden unsichtbaren Teile des Sonnenspektrums entdeckt.

Die ersten genaueren Versuche über die Mengen ausgestrahlter Wärme stellte am Anfang des neunzehnten Jahrhunderts John Leslie (1766—1832) an, wobei er das Differentialthermometer und den „Würfel" benutzte, die beide noch heute seinen Namen tragen. Er fand z. B., daß diejenigen Körper am wenigsten Wärme selbst ausstrahlen, die sie am besten zurückwerfen. Dies Resultat entspricht dem von Kirchhoff (1859) gefundenen Gesetze für Absorption und Emission, das Magnus (1802—70) auch auf die Wärmestrahlung ausgedehnt hat. Rumford fand (1804) das erwähnte Ergebnis Leslies bestätigt. Seebeck (1770—1831) lieferte (1818) den Nachweis, daß das Wärmemaximum für ein Prisma aus Crownglas im Rot, für eines aus Flintglas dagegen im Ultrarot liegt. Für solche Untersuchungen bedurfte man besonders empfindlicher Instrumente. Ein solches gab Nobili (1784—1835) in seinem Thermomultiplikator (1830), mit dem Melloni (1798—1854) seit 1831 wichtige Studien über Diathermansie verschiedener Stoffe anstellen konnte. Er zeigte auch die Reflexion und Refraktion. Als es schließlich auch Bérard (1789—1869), Forbes (1809—68), Melloni und Knoblauch (1820—95) gelang, Polarisation und Doppelbrechung der Wärmestrahlen zu einer Zeit nachzuweisen, in der die Undulationstheorie des Lichtes schon gesiegt hatte, konnte man sich der Annahme von Ätherschwingungen auch für die strahlende Wärme nicht mehr entziehen.

Ganz ungemein empfindlich ist das 1880 von Langley erfundene und mehrfach verbesserte Bolometer, mit dem die Wärmestrahlung des Mondes, ja sogar die des Leuchtkäfers Pyrophorus noctilucus gemessen werden konnte, da es erlaubt, noch ein hundertmilliontel Grad Temperaturdifferenz anzuzeigen. Nur kurz erwähnt sei das von Crookes (g. 1832) angegebene (1873) Radiometer („Lichtmühle"), bei dem die Wärmestrahlung auf eine bis jetzt noch nicht einwandsfrei erklärte Weise in Bewegung umgesetzt wird.

Bevor wir zur weiteren Besprechung der Entwicklung der

Wärmetheorie zurückkehren, empfiehlt es sich noch auf die anderen Teile der Kalorik einzugehen. Wir gedenken zuerst des Wärmeleitungsvermögens, das für die einzelnen Substanzen nicht die gleiche Größe hat, wie schon 1784 Ingenhouß (1730—99) an Drähten mit einem Wachsüberzug demonstrierte, deren eines Ende in heißes Öl eintauchte. Fourier (1768 bis 1830) nahm in seiner „Théorie analytique de la chaleur" (1822) das Problem der Wärmeleitung in allgemeine Behandlung und stellte die bezüglichen Gesetze auf. Der Mineraloge Henri de Sénarmont (1808—62) zeigte die verschiedene Wärmeleitung in anisotropen Kristallen durch die bekannten Schmelzfiguren in einem Wachsüberzug (1847). Flüssigkeiten leiten die Wärme nur sehr schlecht, erwärmen sich aber doch leicht vollständig durch Strömung, was wir z. B. praktisch bei der Warmwasserheizung verwerten. Die erste derartige Einrichtung hatte schon 1716 der Schwede Triewald in Newcastle on Tyne für Gewächshäuser benutzt, während die erste Hochdruckwasserheizung (1831) durch den englischen Ingenieur Perkins (1766—1849) erfunden wurde.

Die Strömungen in einer Flüssigkeit entstehen bekanntermaßen durch Veränderungen der Dichte, die ihrerseits eine Folge der Ausdehnung der Flüssigkeiten sind. Mit letzterer hat sich besonders Gay-Lussac (1778—1850) beschäftigt (1816), wurde aber in seinen Resultaten von Dulong (1785 bis 1838) und Petit (1791—1820), die kommunizierende Gefäße zu ihren Messungen verwendeten (1818), bedeutend übertroffen. Gay-Lussac und Dalton hatten um 1801 unabhängig voneinander gefunden, daß sich alle Gase gleichstark durch die Wärme ausdehnen. Regnault zeigte, daß dies nicht in aller Strenge richtig sei, indem er umfassende Messungen mit dem Luftthermometer darüber anstellte. Die Bedeutung dieses Instruments zum Vergleichen anderer Thermometer, sowie zum Messen sehr hoher Temperaturen ist zur Genüge bekannt. Von den thermoelektrischen Apparaten abgesehen, können wir mäßig hohe Wärmegrade auch mit Thermometern messen, die über dem Quecksilber Stickstoff oder Kohlensäure unter ziemlichem Druck enthalten. Die sog. thermische Nachwirkung kann bis auf ein Minimum durch das Jenaer Normalthermometerglas herabgedrückt werden, das seit dem Jahre 1886 durch das bekannte optische Institut von K. Zeiß (1818—88) in Jena verfertigt wird. Zu

Registrierzwecken nimmt man gern Metallthermometer. Solche wurden im Anfange des 19. Jahrhunderts von den Uhrmachern Jörgensen in Kopenhagen und Holzmann in Wien, sowie in bekannterer Form von dem Uhrmacher Breguet (1748—1823) zu Paris verfertigt.

Bei den vorhin erwähnten Forschungen Regnaults trat der Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen besonders deutlich auf, da diese ihrem Siedepunkt näher sind als jene. Daß man auch bei einem Gase von einem Siedepunkt reden darf, hatte Faraday (1791—1867) im Jahre 1823 gezeigt. Es gelang ihm nämlich damals, zuerst Chlor und dann noch andere Gase (Schwefelwasserstoff, Arsenwasserstoff usw.) durch starken Druck flüssig zu machen. Thilorier, der Erfinder der bekannten Bomben für komprimierte Gase, stellte zuerst flüssige und feste Kohlensäure her. Natterer (g. 1821) erreichte dasselbe für Stickstoffoxydul. Merkwürdigerweise gelang es nur, einige wenige („koerzible") Gase zu verflüssigen, während andere, die sog. permanenten, sich selbst bei den stärksten Drucken nicht veränderten. Diese Eigentümlichkeit wurde verständlich, als Andrews (1813—85) zeigte (1869), daß ein Gas nicht durch einen bestimmten Druck allein verflüssigt werden kann, sondern daß man hierzu unter einen jeweils bestimmten Wärmegrad, die kritische Temperatur, heruntergehen muß. Damit war die einzuschlagende Methode angezeigt. Im Jahre 1877 gelang es Cailletet (g. 1832) und Pictet (g. 1846), unabhängig voneinander, durch hohen Druck und geeignete Abkühlung Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenoxyd und Luft flüssig zu machen. Seit 1883 beschäftigten sich von Wroblewski (1845—88) und Karl Olszewski mit flüssigen Gasen. Die praktischen Doppelwandgefäße zur Aufbewahrung von solchen erfand James Dewar (g. 1842) 1890. Im Jahre 1895 gab Professor Karl von Linde (g. 1842) in München eine Methode zur Verflüssigung von Gasen an, bei der die Abkühlung bei freier Expansion (d. h. ohne Arbeitsleistung) benutzt wird. Dadurch ist z. B. die Herstellung der flüssigen Luft wesentlich verbilligt worden, was für die Kältetechnik natürlich von hoher Bedeutung ist. Im Jahre 1898 konnte Dewar auch den flüssigen Wasserstoff in größeren Mengen und eingehend untersuchen. Indem er festen Wasserstoff unter der Luftpumpe verdampfen ließ, gelang es ihm, bis auf 13 Grad an den absoluten Nullpunkt

Digitized by Google

heranzukommen. Die größte bis jetzt beobachtete Kälte (—271,3°) konnte Olszewski durch Verwendung von festem Wasserstoff und einem Drucke von 180 Atmosphären (1906) feststellen.

Es war der Entwicklung der Wärmelehre sehr förderlich, daß man frühzeitig eingehende Untersuchungen über die Wärmequantitäten anstellte, durch welche man die verschiedenen Substanzen auf eine bestimmte Temperatur bringen kann. Bei solchen Forschungen fanden Dulong und Petit die Veränderlichkeit der spezifischen Wärmen mit der Temperatur und erhielten (1819) die eigentümliche Relation, daß das Produkt aus Atomgewicht und spezifischer Wärme für alle Zahlen den gleichen Wert hat (was aber bekanntlich nur angenähert richtig ist). Dieser Beziehung erstanden viele Widersacher. Den ersten Verteidiger fand sie in der Person des Grafen Avogadro di Quaregna (1776—1856), der 1811 das Gesetz aufgestellt hatte, daß alle Gase bei gleichen Druck- und Temperaturverhältnissen in gleichen Mengen gleichviel Moleküle enthalten. Das Verhältnis der spezifischen Wärmen der Gase bei konstantem Druck und konstantem Volumen wurde zuerst von Gay-Lussac bestimmt. Ein besonders einfaches Verfahren hierfür gaben (1819) Clément († 1841) und sein Schwiegervater Desormes (1777—1862). Dulong ermittelte dieselbe Größe aus der Schallgeschwindigkeit (1829).

Der Begriff der spezifischen Wärme gewann besonders an Interesse, als man daranging, sich über die Grundlagen der Dampfmaschinen Klarheit zu verschaffen. Der Ingenieurkapitän Sadi Carnot (1796—1832) ließ 28jährig (1824) zu Paris eine Schrift unter dem Titel: „Réflexions sur la puissance motrice du feu" erscheinen, in der betont wird, daß jede thermodynamische Maschine einen Kreisprozeß durchlaufen muß. Die Arbeit wird durch Wärme erzeugt, die aus einem Körper von höherer Temperatur zu einem von niederer Temperatur abfließt, wobei die vorhandene Wärmemenge dieselbe bleibt. Carnot starb schon nach weiteren acht Jahren. Man darf wohl annehmen, daß er bei längerer Lebensdauer die Un-

richtigkeit des letzten Teiles des eben angeführten Satzes bemerkt haben würde. Erst 10 Jahre nach dem frühen Tode Carnots konnte über diesen Punkt Klarheit geschaffen werden durch die Untersuchungen des Arztes Robert Mayer (25. November 1814—20. März 1878) aus Heilbronn.

Eine scheinbar recht geringfügige Tatsache bildete den Ausgangspunkt für die Überlegungen, durch welche Mayer zu dem Satz von der Erhaltung der Energie hingeführt wurde. Er hatte als Schiffsarzt auf einem holländischen Ostindienfahrer eine Reise von Rotterdam nach Java mitgemacht und kurz nach seiner Ankunft in Batavia (Sommer 1840) bei Aderlässen die Beobachtung gemacht, daß das venöse Blut viel heller war als in Europa und sich in der Farbe kaum von dem arteriellen unterschied. Durch geringe dienstliche Verpflichtungen hatte Mayer Muße, den Gründen dieser Erscheinung nachzuforschen. Es war vor allem die Verbrennungstheorie von Lavoisier (1743—94), die seine Gedanken schließlich zu dem Prinzip der Äquivalenz von Wärme und Arbeit hinüberleitete. Am 16. Juni 1841 legte er eine Abhandlung über diesen Gegenstand mit dem Titel „Über quantitative und qualitative Bestimmung der Kräfte“ dem Herausgeber der bekannten Annalen der Physik und Chemie Johann Christian Poggendorff (1796—1877) vor, der sie jedoch ablehnte. Sie fand erst in den „Annalen der Chemie und Pharmazie“ von Liebig Aufnahme und erschien im Maiheft 1842 als „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“. Der schlechtgewählte Titel — das war überhaupt Mayers Schwäche — verschaffte der Abhandlung nur geringe Beachtung. Sie enthält die erste, allerdings nicht genaue numerische Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents. Mayer findet

Digitized by Google

nämlich, daß „dem Herabsinken eines Gewichtsteils aus einer Höhe von etwa 365 Metern die Erwärmung eines gleichen Gewichtsteils Wasser von 0^0 auf 1^0 entspricht".

Mayers Berechnung mußte ungenau sein, da die einzelnen physikalischen Konstanten, z. B. die spezifischen Wärmen noch nicht genau genug bestimmt waren. Dies geschah erst in den Jahren 1847—62 durch Regnault.

Wenn wir im folgenden den Gang von Mayers Rechnung darlegen, verwenden wir natürlich nicht seine, sondern neue Werte. Mayer denkt sich 1 Liter Luft bei 0^0 und 760 mm Quecksilberdruck in ein zylindrisches Gefäß von 1 qdm Querschnitt eingeschlossen. Das Gefäß besitzt einen luftdicht schließenden Kolben, auf dem pro Quadratzentimeter ein Druck von 1033 g, d. h. ein Gesamtluftdruck von 103,3 kg lastet. Erwärmen wir nun die Luft, deren Gewicht 0,001293 kg beträgt, um 1^0, so dehnt sich das Luftvolum um $\frac{1}{273}$ aus. Dadurch verschiebt sich der Kolben um $\frac{1}{273}$ dm $= \frac{1}{27300}$ m. Die geleistete Arbeit ist $103{,}3 \cdot \frac{1}{27300}$ mkg $= \frac{103{,}3}{2730}$ mkg. Die verbrauchte Wärmemenge ist offenbar — wenn die spezifische Wärme bei konstantem Druck bzw. Volumen 0,2377 bezw. 0,1686 ist — $0{,}001293 \cdot (0{,}2377 - 0{,}1686)$ in Kalorien ausgedrückt. Sie entspricht der Arbeit von $\frac{103{,}3}{2730}$ mkg. Das Arbeitsäquivalent der Wärmeeinheit ist demnach $\frac{103{,}3}{2730 \cdot 0{,}001293 \cdot (0{,}2377 - 0{,}1686)}$ mgk, also 423,5 mkg.

Die erste experimentelle Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents unternahm James Prescott Joule (1818—89), Bierbrauer zu Salford bei Manchester, worüber er am 21. August 1843 der British Association berichtete. Im Jahre 1845 ließ Robert Mayer zu Heilbronn seine Hauptarbeit unter dem Titel: „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel" erscheinen. In der Einleitung findet sich der Satz: „Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. In

ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten, wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft." Mayer pflegt unter „Kraft" meist das zu verstehen, was wir mit unserer heutigen schärferen Terminologie als „Energie" bezeichnen. In der genannten Schrift zeigt Mayer, daß der Aufwand eines mechanischen Effekts die Erzeugung eines mechanischen, thermischen, magnetischen, elektrischen oder chemischen Effekts bedingt.

An Mayers Entdeckung hat sich ein ganz unerquicklicher Prioritätsstreit angeknüpft, auf den wir jedoch nicht einzugehen brauchen, da man ihn heute doch als zugunsten unseres schwäbischen Landsmannes entschieden ansieht. Die Rivalen waren der Däne Ludwig August Colding (1815—88), der schon erwähnte Engländer Joule, sowie Hermann von Helmholtz. Ersterer kam 1843 durch philosophische Spekulationen zu dem Gesetz von der Erhaltung der Energie, Joule durch Untersuchung der Wärmewirkung des elektrischen Stromes und endlich Helmholtz (1847) durch die Negierung des Perpetuum mobile. Das wirkliche Verdienst des lang verkannten und unglücklichen Heilbronner Arztes wurde erst 1862 in das richtige Licht gesetzt und zwar durch einen Vortrag, den John Tyndall anläßlich der Weltausstellung zu London hielt. Trotzdem gibt es heute noch eine ganze Reihe von deutschen Lehrbüchern der Physik, in denen der Name des Deutschen Robert Mayer beim Satz von der Erhaltung der Energie vollständig, dagegen der Name des Engländers Joule nicht fehlt. Diesem verdanken wir vor allem zahlreiche Messungen des Wärmeäquivalents. In seiner Hauptabhandlung von 1850 gibt er als Mittel aus seinen Versuchen an, daß eine Wärmeeinheit 424 Kilogrammetern äquivalent ist.

Auf die zuerst durch Carnot behandelten Fragen der Thermodynamik griff Clausius seit 1850 zurück und schuf mit seinen „2 Hauptsätzen" die eigentliche Grundlage für das Gebäude der mechanischen Wärmetheorie[1]), die für feste und flüssige Körper noch große Schwierigkeiten in sich

[1]) Näheres darüber Nr. 77 und 242 der Sammlung Göschen.

Digitized by Google

birgt. Für die Gase wurde sie passend durch die kinetische Gastheorie vervollständigt. Als deren Urheber darf man den Gymnasiallehrer August Krönig (1822—79) ansehen, der 1856 die Grundzüge dieser Theorie klarlegte, die noch durch Clausius, Maxwell (1831—79) u. a. bedeutend gefördert wurde.

Für die Theorie der Dampfmaschine wurden die neuen thermodynamischen Betrachtungen zuerst durch Zeuner (g. 1828) nutzbringend verwendet (1855) und vor allem durch William Rankine (1820—72) entsprechend vervollkommnet (1859). Auf die Entwicklung der eigentlichen Dampfmaschine im 19. Jahrhundert brauchen wir nicht einzugehen; es handelt sich dabei vor allem um technische Verbesserungen, wie sie durch die mannigfachen Verwendungsarten erforderlich wurden. Wir nennen nur die 1801 von Oliver Evans konstruierte Hochdruckmaschine. Neuerdings kommt man in der Dampfmaschinentechnik wieder auf die Reaktionskugel des Heron zurück. 1886 baute nämlich Charles Parsons in Newcastle on Tyne eine brauchbare Reaktionsdampfturbine, während im folgenden Jahre Gustave de Laval eine Aktionsdampfturbine erfand, bei der der Dampf aus mehreren Öffnungen gegen das Laufrad drückt. Die Dampfturbine wird jedenfalls, da sich die Maschinentechniker eifrig mit ihr beschäftigen, der Kolbenmaschine noch tüchtig Konkurrenz machen, besonders für den Antrieb von Dynamos und zur Bewegung von Schiffen.

Das erste dauernd brauchbare Dampfschiff baute der Amerikaner Robert Fulton (1763—1815) im Jahre 1807. Man hielt zunächst sehr wenig von der Erfindung. Napoleon I. z. B. bezeichnete Fulton als einen Narren, da er ihm vorgeschlagen habe, seine Flotte durch kochendes Wasser nach England hinüberzufahren. Fultons Schiff „Clermont" hatte seitlich angebrachte Ruderräder, deren Schaufeln in der Speichenrichtung standen. Der Schotte Buchanan richtete sie 1813 so ein, daß sie stets senkrecht hingen und auch so in das Wasser eintauchten. Es bedarf hier keiner Auseinandersetzung über den Vorteil der Schiffsschraube, wie sie zuerst (1826) der Österreicher Ressel und dann (1836) in vervollkommneter Form Francis Smith bei seinem Dampfer „Archimedes" verwendete. Für den Bau der Kriegsschiffe wurde besonders der Kriegsdampfer „Princeton" vorbildlich,

Digitized by Google

welchen 1843 der schwedisch-amerikanische Ingenieur John Ericsson (1803—89), der Miterfinder der Dampffeuerspritze (1830), verfertigte.

Die ersten Lokomotiven benutzte man nur zur Beförderung von Lasten (1804, Trevithick). Über die Verwendung glatter Schienen war man nicht völlig im klaren; man hielt die Adhäsion der Räder für zu gering und benutzte z. B. Zahnrad und Zahnstange (1811, Blenkinsop), wie bei unseren Bergbahnen. Im Jahre 1814 wies aber George Stephenson (1781—1841) nach, daß dies bei mäßigen Steigungen und nicht zu großen Lasten gar nicht nötig sei, daß man mit glatten Schienen völlig ausreiche. Am 29. September 1825 ließ er auf der Linie Stockton—Darlington den ersten Personenzug fahren, der in einer Stunde 10 Kilometer zurücklegte. Die Liverpool—Manchesterbahn eröffnete am 25. April 1829 eine Konkurrenz für Lokomotiven, die mindestens ihr dreifaches Gewicht mit einer Geschwindigkeit von 16 Kilometern in einer Stunde fortbewegen könnten. Stephenson erhielt den Preis von 250 Pfund Sterling mit seiner Maschine „Rocket", die bei einer Geschwindigkeit von 31 Kilometern in der Stunde ihr fünffaches Gewicht fortziehen konnte. Am 7. Dezember 1835 wurde die erste Eisenbahn Deutschlands zwischen Nürnberg und Fürth eröffnet. Die von Stephenson gebaute Lokomotive „Adler" wechselte dabei zunächst noch mit Pferden (!) ab. Es ist ein köstlicher Genuß, aus Zeitungen jener Tage die Bedenken zu vernehmen, die man gegen die Eisenbahn vorbrachte. Der Anblick des fahrenden Zuges sollte Wahnsinn, der entstehende Luftzug sogar den Tod bringen. Den Gastwirten an den nun wohl vereinsamenden Landstraßen schien der Ruin unausbleiblich. Als keine der Befürchtungen zutraf, man vielmehr die bedeutenden Vorteile des neuen Verkehrsmittels einsah, nahm man schließlich jedes auftauchende Eisenbahnprojekt mit heller Begeisterung auf.

Ein besonders für kleinere Betriebe zweckmäßiger Ersatz der Dampfmaschine ist der Gasmotor. Die höchst primitive Form, die ihm Barber (1791) geben wollte — das entzündete Gas sollte ein Schaufelrad treiben —, war natürlich unbrauchbar. 1801 nahm Lebon ein Patent auf eine doppeltwirkende Zylindermaschine, bei der ein Gemisch von Gas und Luft elektrisch entzündet wird, während der atmosphärische Gasmotor von Samuel Brown (1823) eine besondere Zündflamme

Digitized by Google

besitzt. Barnett (1838) verdichtete das Gasgemisch vor der Einführung in den Zylinder. Lenoir, der am 24. Januar 1860 ein Patent auf einen praktischen doppeltwirkenden Gasmotor erhalten hatte, betrieb nun deren Verfertigung fabrikmäßig. Von der direkten Explosionswirkung gingen Nikolaus Otto und Eugen Langen bei ihrem Gasmotor ab (1867). Der zweckmäßige Viertaktprozeß wurde schon 1862 durch Beau de Rochas vorgeschlagen, kam aber erst 1878 bei der Maschine von Otto zur Verwendung. Als bequemes Bewegungsmittel von Wagen und Booten ersann (1885) Daimler in Cannstatt seinen rühmlichst bekannten Benzin- bzw. Petroleummotor. Das erste deutsche Patent für ein Benzinautomobil erhielt C. Benz am 29. Januar 1886. Der Luftreifen (Pneumatik) stammt von dem Zahnarzte J. B. Dunlop in Dublin (1890).

Die Optik.

Im achtzehnten Jahrhundert war nur durch Leonhard Euler die Stimme gegen die Emanationstheorie erhoben worden, ohne daß man jedoch in der nächsten Zeit der Frage nach dem wahren Wesen des Lichts näher trat. Die bis dahin bekannten optischen Erscheinungen ließen sich aus den Anschauungen Newtons heraus leidlich genug erklären. Erst das neunzehnte Jahrhundert vermittelte die Kenntnis mit einer ganz neuen Klasse noch nie zuvor beobachteter Phänomene, die einer Erklärungsweise im Sinne der newtonianischen Theorie direkt widersprachen und so nach und nach der Undulationslehre zum Siege verhalfen.

An der Schwelle des 19. Jahrhunderts sehen wir der Lehre von Huygens einen eifrigen Verteidiger in der Person des genialen Arztes Thomas Young (1773 bis 1829) erstehen. Dieser erhob gegen die Emanationstheorie zwei schwerwiegende Einwände: „Wie läßt sich erklären, daß alle leuchtenden Körper die Lichtteilchen mit der gleichen Geschwindigkeit aussenden?“ und „Warum wird beim Auftreffen stets ein Teil des Lichts zurückgeworfen, und ein anderer gebrochen?“ Die Un-

Digitized by Google

dulationstheorie konnte für beide Fragen befriedigende Antworten geben. Die von ihm entdeckte und klar behandelte Interferenz der Wellenbewegungen lieferte ihm auf Grund der Undulationstheorie eine ungezwungene Erklärung (1802) der Farben dünner Blättchen.

Youngs Untersuchungen wurden so gut wie gar nicht beachtet, da sie den 1808 durch Malus entdeckten Polarisationsphänomenen nicht gewachsen erschienen. Veranlaßt durch eine Preisfrage der Pariser Akademie, schaute Malus (1775 bis 1812) eines Abends durch einen Kalkspatkristall nach den im Lichte der untergehenden Sonne glostenden Fenstern des Palais Luxembourg, sah aber bei einer bestimmten Kristallstellung nur ein Bild. Bei Versuchen mit von Wasser oder Glas reflektiertem Kerzenlicht fand er dies bestätigt. Zur Erklärung nahm Malus für die Lichtteilchen Pole, wie bei einem Magneten, an und nannte die Erscheinung „Polarisation des Lichts". Arago (1786—1853) fand 1811 die sog. chromatische Polarisation an sehr dünnen Glimmerblättchen. Die weitere Untersuchung führte Brewster (1781—1868) zu der Auffindung der sog. isochromatischen Kurven in Kristallen (1813). Zu solchen Forschungen empfahl Biot (1774—1862) die Benutzung zweier Turmalinplatten („Turmalinzange"), da er bemerkt hatte, daß solche von einer gewissen Dicke den ordinären Strahl absorbieren. Alle diese Erscheinungen konnten mit der Emanationstheorie ebensowenig erklärt werden, wie die (1811) von Arago am Bergkristall und nachher auch von Biot für Flüssigkeiten konstatierte Drehung der Polarisationsebene.

Von größter Bedeutung für die Weiterentwicklung der Optik waren die Arbeiten von Fresnel (1788—1827), der als Verfechter der Undulationstheorie das Prinzip von Huygens geschickt mit dem Interferenzbegriff verknüpfte und damit (1815) die Beugung des Lichts einfach erklären konnte. Fresnel und Arago konnten in ihren gemeinsamen Untersuchungen während der Jahre 1816—19 die Bedingungen der Interferenz der polarisierten Lichtstrahlen feststellen. Aus ihrem zweiten Satz: „Zwei rechtwinklig polarisierte Strahlen können unter keinen Umständen interferieren" zog Young (1817) die logische Folgerung, daß dann die Undulationen unmöglich longitudinale, sondern nur transversale

Digitized by Google

sein können. Damit boten sich die einfachsten Erklärungen der Polarisationsphänomene. Die Gesetze der Doppelbrechung erläuterte Fresnel mit der durch ein dreiachsiges Ellipsoid dargestellten Wellenfläche (1821). Die Entdeckung der elliptischen und zirkularen Polarisation lieferte ihm ungezwungen die Erklärung für die Rotationspolarisation.

Gleichzeitig mit den eben besprochenen Studien wurden auch Forschungen über das Spektrum angestellt, deren eigentliche hohe Bedeutung sich erst in späteren Jahrzehnten offenbarte. Wollaston (1766—1828) hatte 1802 im Sonnenspektrum schwarze Linien bemerkt und die Spektren glühender Körper als nicht kontinuierlich erkannt. Offenbar unabhängig fand 1814 der Optiker Fraunhofer (1787—1826), dem wir die ersten Messungen der Brechungsexponenten von Flüssigkeiten und festen Körpern verdanken, dieselben dunkeln Linien, die noch heute seinen Namen tragen. Er zählte deren über 500 und bezeichnete deren wichtigste mit Buchstaben. Er erkannte ferner, daß jeder Linie eine ganz bestimmte Brechbarkeit entspricht, und fand diese z. B. für die D-Linie des Sonnenspektrums gerade so groß, wie für die gelbe Linie einer durch Kochsalz gefärbten Alkoholflamme. Fraunhofer beobachtete (1822) die Linien auch an Spektren, die mittels der von ihm zuerst hergestellten Beugungsgitter entstanden. Er war von der Wahrheit der Undulationstheorie fest überzeugt und maß sogar zuerst Wellenlängen, wobei sich zeigte, daß Wellen größerer Länge geringere Brechbarkeit besitzen. Wir erwähnen hier den Vorschlag (1829) von Babinet (1794 bis 1872), eine bestimmte Wellenlänge als Normalmaß zu benutzen, was jedoch nicht in Gebrauch kam.

Das Problem der Dispersion bot der Undulationstheorie große Schwierigkeiten. Es gelang aber doch Cauchy (1789 bis 1857), auch hier überzeugende Erklärungen sowie eine „Dispersionsformel" aufzustellen (1836), die die Abhängigkeit zwischen Wellenlänge und Brechungsverhältnis angibt. Nach ihr müssen längere, also rote Wellen schwächer als kürzere gebrochen werden. Daß dies aber nicht immer zutrifft, konnte Le Roux nachweisen. Er beobachtete 1862 dies zuerst an Joddampf. Diese Erscheinung, die sog. anomale Dispersion, bestätigte Christiansen (g. 1843) auch für Fuchsinlösung (1871). Kundt untersuchte sie noch für eine Reihe von Substanzen.

Digitized by Google

Arago hatte schon 1838 den Vorschlag gemacht, mittels gemessener Lichtgeschwindigkeiten experimentell zwischen den beiden Lichttheorien zu entscheiden, und hatte dafür die Verwendung rotierender Spiegel empfohlen. Sind l bzw. w die Geschwindigkeiten des Lichts in Luft bzw. Wasser, so verlangt die Emanationstheorie das Verhältnis

$$l : w = 3 : 4 ,$$

die Undulationstheorie aber

$$l : w = 4 : 3 .$$

Im Jahre 1850 stellte Foucault Messungen von l und w nach Aragos Plan an und wies damit die Richtigkeit der zweiten Proportion und zugleich die Undulationstheorie als alleingültig nach. 1862 konnte Foucault sein Verfahren so abändern, daß es auch die Messung der absoluten Lichtgeschwindigkeit in einem Zimmer ermöglichte, während das bekannte dem gleichen Zwecke dienende Verfahren von Fizeau (g. 1819) eine Wegstrecke von fast 9000 Metern benötigt hatte (1849).

In der Folgezeit ist die Geschwindigkeit des Lichtes noch mehrfach gemessen worden, z. B. 1873 durch Cornu (1841 bis 1902), 1878 durch Michelson (g. 1852) und 1881 durch J. Young (1811—83).

Einen großen Raum in der Geschichte der neueren Optik umfassen die Spektraluntersuchungen, über die wir jedoch nur kurz berichten dürfen. Talbot (1800—77) und John Herschel (1792—1871) wiesen (1826) zuerst darauf hin, daß den einzelnen Stoffen bestimmte Linien im Spektrum entsprechen, und daß man aus diesen auf die Existenz jener schließen dürfe. Ohne auf die weiteren bezüglichen Arbeiten von Miller (1817—70) 1845, Swan (g. 1818) 1855 und Ångström (1801—68) weiter einzugehen, führen wir an, daß Plücker (1801—68) mit Geißlerschen Röhren den Nachweis lieferte, daß man aus dem Spektrum eines Gases mit voller Bestimmtheit auf seine Natur schließen kann. Eine

Digitized by Google

ungeheure Fülle von neuen Tatsachen, geradezu eine besondere naturwissenschaftliche Disziplin von ungeahnter Tragweite eröffnete sich durch die großartigen Entdeckungen von Kirchhoff (1824—87) und Bunsen (1811—99), durch die der wahre Zusammenhang zwischen hellen und dunkeln Spektrallinien klar erkannt wurde. Die bedeutendsten Entdeckungen oder Erfindungen wurden der Welt zumeist in der schlichtesten Form bekannt gemacht. So auch hier. Auf nur 2 Oktavseiten im Oktoberheft (1859) der Akademie der Wissenschaften zu Berlin erstattete Kirchhoff Bericht über die gemeinsame Arbeit unter dem anspruchslosen Titel: „Über die Fraunhoferschen Linien". Beide Forscher hatten gefunden, daß „farbige Flammen, in deren Spektrum helle, scharfe Linien vorkommen, Strahlen von der Farbe dieser Linien, wenn dieselben durch sie hindurchgehen, so schwächen, daß an Stelle der hellen Linien dunkle auftreten, sobald hinter der Flamme eine Lichtquelle von hinreichender Intensität angebracht wird, in deren Spektrum die Linien sonst fehlen", ferner, daß „die dunkeln Linien des Sonnenspektrums, welche nicht durch die Erdatmosphäre hervorgerufen werden, durch die Anwesenheit derjenigen Stoffe in der glühenden Sonnenatmosphäre entstehen, welche in dem Spektrum einer Flamme helle Linien an demselben Orte erzeugen".

Schon im Dezember 1859 konnte Kirchhoff über die wahre Entstehungsursache der Fraunhoferschen Linien berichten. Er hatte gefunden, daß „für Strahlen derselben Wellenlänge bei derselben Temperatur das Verhältnis des Emissionsvermögens zum Absorptionsvermögen bei allen Körpern dasselbe ist". Die ausführlichere Begründung seines Gesetzes gab Kirchhoff im Jahre 1861.

Im April 1860 entdeckten Kirchhoff und Bunsen auf dem Wege der Spektralanalyse ein viertes Metall der Alkaligruppe, das Cäsium. 1861 fanden Bunsen das Rubidium und W. Crookes (g. 1832) das Thallium, 1862 Reich und Richter (1823—69) das Indium.

Die Spektralarbeiten wurden mehrfach aufgenommen. Plücker und Hittorf (g. 1824) fanden, daß je nach der Temperatur verschiedene Spektren (erster und zweiter Ordnung) von demselben Stoff erzeugt werden können. Wüllner (g. 1835) wies außer diesen beiden — er nannte sie Banden- und Linienspektren — noch eine dritte Art nach (1866).

Im Jahre 1868 gelang es ihm, die Spektren von Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff durch Druckvariationen in Geißlerschen Röhren zu verändern. Ångström trat ihm noch im gleichen Jahre entgegen, ohne jedoch Sieger zu bleiben. Wüllner fand besonders Unterstützung durch die Ergebnisse der Arbeiten (1871) von Zöllner (1834—82).

Sehr interessant sind die Folgerungen, die man für die Spektrallinien aus dem „Dopplerschen Prinzip" ziehen kann. Im Jahre 1842 veröffentlichte der Mathematikprofessor Doppler (1803—53) in Schemnitz eine Schrift: „Über das farbige Licht der Doppelsterne", in der er betonte, daß ein selbstleuchtender Körper uns in einer Farbe größerer oder kleinerer Brechbarkeit erscheinen muß, wenn sein Abstand von uns ab- oder zunimmt. Buys-Ballot (1817—91) bestätigte 1845 das akustische Analogon dieses Prinzips. Fizeau machte 1848 darauf aufmerksam, daß demnach für einen seine Entfernung von uns ändernden Fixstern eine Verschiebung der Spektrallinien müsse beobachtet werden können. Der Astronom Huggins (g. 1824) konnte tatsächlich 1868 aus einer Verschiebung der Wasserstofflinie *F* im Spektrum des Sirius auf eine zunehmende Entfernung desselben schließen[1]).

Ohne uns auf die Entwicklung des Spektralapparats weiter einzulassen, erwähnen wir, daß die geradsichtigen Spektroskope, mit denen man Lichtquellen in Bewegung (Meteore, Blitze usw.) gut beobachten kann, auf Amici (1786 bis 1863) zurückgehen (1860).

Die Untersuchung der unsichtbaren Teile eines Spektrums erfordert genauere Kenntnis der Fluoreszenz und Phosphoreszenz. Der schon früher von uns erwähnten Fluoreszenzerscheinung an nephritischem Holze fügte Goethe in seinen „Nachträgen zur Farbenlehre" diejenige an Roßkastanienrinde hinzu. Brewster entdeckte 1833 ähnliches am Chlorophyll und 1838 am Flußspat, John Herschel 1845 am schwefelsauren Chinin. Stokes (1819—1903), der auch den Namen „Fluoreszenz" gab, suchte (1852 ff.) tiefer in das Wesen dieser rätselhaften Erscheinung einzudringen Seine Theorie wurde aber durch die von Lommel seit 1862 verfochtene überholt.

Untersuchungen (1845) von P. Rieß (1805—83) und J. W. Draper (1811—82) bereiteten auf das epochemachende Werk über Phosphoreszenz vor, das Edmond Becquerel

[1]) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 11, S. 155.

Digitized by Google

(1820—91) 1867 veröffentlichte. Er konnte mit seinem Phosphoroskop (1859) den Nachweis liefern, daß viele Körper „Lichtträger" sind und daß besonders fluoreszierende Stoffe phosphoreszieren.

Eine wichtige Anwendung der chemischen Wirkungen des Lichts bietet uns die Photographie. Das lästige und zeitraubende Abzeichnen von Naturobjekten hatte man vorher durch allerlei Apparate zu erleichtern gesucht. Neben der Camera obscura nennen wir die 1809 von Wollaston (1766 bis 1828), dem Erfinder des Reflexionsgoniometers, angegebene Camera lucida.

Der Professor Schulze in Halle (1687—1744) ist bei seinen Arbeiten mit dem „Balduinschen Phosphor" 1727 der Erfinder der Photographie geworden. Es gelang ihm, mit ausgeschnittenen Metallschablonen lichtunbeständige Bilder in Chlorsilber zu erhalten. Charles, der Erfinder des Wasserstoffballons, stellte zuerst in der Camera Silhouetten auf Chlorsilberpapier her. Ähnliches versuchten auch der Porzellanfabrikant Wedgewood (1730—95) sowie Davy. Die Lichtbeständigkeit solcher Bilder erzielte erst Nicéphore Niépce (1765—1833) durch Fixation nach einem äußerst umständlichen Verfahren (1814), das durch die von John Herschel eingeführte Verwendung des unterschwefligsauren Natrons (1820) endgültig verdrängt wurde.

Das erste wirklich brauchbare Verfahren der Lichtbildnerei stammt von dem Erfinder (1822) des Dioramas, dem Maler Daguerre (1789—1851) zu Paris. Er benutzte Jodsilber auf einer Silberplatte, die in die Camera gebracht und dort belichtet wurde. Er behandelte sie hierauf mit Dämpfen von Quecksilber, das sich an den durch das Licht zersetzten Stellen niederschlug. Das nicht veränderte Jodsilber wurde alsdann mit unterschwefligsaurem Natron entfernt. Die so entstandene „Daguerrotypie" war ein positives, aber seitenverkehrtes Bild. Diesen Übelstand wußte W. H. Fox Talbot (1800—77) geschickt zu vermeiden. Er benutzte Papier mit einer Bromsilberschicht, das in der Camera belichtet wurde. Das Bild, mit Gallussäure hervorgerufen und fixiert, erschien negativ; man konnte von ihm durch Kopieren auf Bromsilberpapier beliebig viele „Positive" herstellen. Talbot nannte seine Kunst Photogenie oder Photographie, während in seiner englischen Heimat der Name „Talbotypie" gebräuch-

Digitized by Google

licher war. Claude Niépce de St. Victor (1805—70), der Neffe des früher erwähnten, photographierte (1848) auf Glasplatten, die mit silbersalzhaltigem Eiweiß bedeckt waren, während Fry und Archer 1851 silbersalzhaltiges Kollodium benutzten. Seit den Versuchen (1871) von Maddox mit Bromsilbergelatineemulsionen wurde jedoch dieses unbequeme „nasse Kollodiumverfahren" durch den Gebrauch der viel praktischeren Trockenplatte nach und nach verdrängt. Überall, wo man auf Ersparnis an Platz und Gewicht oder auf rasche Wechselung bedacht sein muß, sind die von dem französischen Photographen Frédéric Lumière (1890) erfundenen Films besonders zweckmäßig.

Die letzten Jahrzehnte haben die Photographie ungemein gefördert. Die Herstellung hochempfindlicher Platten begünstigte die 1880 von dem Amerikaner Muybridge erfundene Momentphotographie. Selbst bei ungünstigem Lichte können leicht Aufnahmen gemacht werden seit der Verwendung des 1808 von Davy entdeckten Magnesiums durch Crookes (1859), das seit 1888 nach dem Vorgange von Miethe und Gädicke auch für Blitzlicht gebraucht wird. Der störende Übelstand, daß nicht alle Farben sich photographisch durch passende Helligkeitsunterschiede charakterisieren, gab 1873 für H. W. Vogel (g. 1834) den Anlaß zur Herstellung isochromatischer Platten. Das Problem der Photographie in natürlichen Farben ist noch ungelöst, wenn wir von einer Ausnahme absehen. Nachdem nämlich Wiener (g. 1862) die Bildung stehender Lichtwellen bei der Reflexion bewiesen hatte (1890), gelang es im Januar 1891 Gabriel Lippmann (g. 1845), das Sonnenspektrum farbig zu photographieren. Was man als sog. farbige Photographien zu kaufen pflegt, ist meist nach dem 1891 von Vogel ausgedachten photomechanischen Dreifarbendruckverfahren hergestellt, das auf dem 1861 durch Maxwell ersonnenen „additiven Dreifarbenverfahren" basiert.

Von den zahllosen Anwendungsmöglichkeiten der Photographie heben wir nur eine der vielen astronomischen hervor. Auf einer Platte, die der Bewegung des Sternenhimmels folgt, verzeichnen sich nämlich Fixsterne als Punkte, Asteroiden aber als kleine Striche, so daß man auf diese Weise nach dem Vorgange (seit 1891) von M. Wolf (g. 1863) in Heidelberg Himmelskörper photographisch entdecken kann[1]).

[1]) Vgl. hierzu Sammlung Göschen Nr. 11, S. 93.

Digitized by Google

Die Entdeckung der Photographie mußte anregend auf Untersuchungen über die chemische Aktion der Lichtstrahlen wirken. Wir nennen nur die klassischen Forschungen seit 1855 von Bunsen und Roscoe (g. 1833), die nach dem Vorgang (1843) von Draper dabei ein Gemisch von Chlor und Wasserstoff benutzten. Bei einer dieser Arbeiten beschreibt Bunsen (1857) auch seinen berühmten Leuchtgasbrenner, der die Vorzüge aller Apparate dieses großen Chemikers hat, große Verwendbarkeit und verblüffende Einfachheit. Man denke nur an das bekannte Fettfleckphotometer (1843). Von anderen demselben Zweck dienenden Vorrichtungen nennen wir diejenige des Grafen Rumford von 1813 und diejenige von Ritchie († 1837) von 1829. Die anderen gebräuchlichen Apparate zur Vergleichung von Lichtstärken sind meist komplizierter gebaut, so die Polarisationsphotometer von H. Wild (1833—1902) 1865 und Zöllner 1879 und das Selenphotometer von W. Siemens 1875.

Die von Violle (1884) vorgeschlagene Lichtstärkeneinheit war unzweckmäßig, während die „Hefnerkerze" — benannt nach dem Elektrotechniker F. von Hefner-Alteneck (g. 1845) — sich seit ihrer allgemeinen Einführung (1897) gut bewährt.

Über die Entwicklung der physiologischen Optik dürfen wir uns sehr kurz fassen. Seebeck stellte (1837) Untersuchungen über Farbenblindheit an, Plateau und Arago (1839) über Irradiation. Als Gegenstück zu seinem akustischen Werke ist die „Physiologische Optik" (1856) von Helmholtz zu nennen, wobei er von den Studien Goethes über die physiologischen (= subjektiven) Farben ausging. Die Resultate des wegen seiner Farbenlehre vielgeschmähten Goethe konnten, soweit sie die Farben trüber Medien betreffen, von Brücke (1819—92) bestätigt werden. Über das Innere des Auges wurden wir durch die Erfindung des Augenspiegels (1851) durch Helmholtz eingehend unterrichtet.

Die Verschiedenheit der Bilder eines geschauten Gegenstandes in den beiden Augen — schon von Leonardo da Vinci erwähnt — demonstrierte Wheatstone (1802—75) mit seinem Spiegelstereoskop (1838). Um den körperlichen Eindruck bei Bildern besser zu erzielen, benutzt man lieber das Linsenstereoskop (1849) von Brewster (1781—1868), dem Urheber des bekannten Kaleidoskops (1817).

Digitized by Google

Der Professor Simon Stampfer zu Wien (1792—1864) gab 1834 seine stroboskopischen Scheiben an, deren Idee übrigens von Plateau (1833) stammt. Von den zahllosen auf dem gleichen Prinzip beruhenden Apparaten der verschiedensten Konstruktion erwähnen wir das 1834 von Horner beschriebene Lebensrad, den Schnellseher von Anschütz und den besonders populären Kinematographen von Edison (g. 1847) oder Lumière.

An Instrumenten für die reine wissenschaftliche oder angewandte Optik ist das neunzehnte Jahrhundert sehr reich. Die Grundlagen für deren Herstellung bis zur höchsten Vervollkommnung können wir hier nicht historisch entwickeln, sie führen in der Hauptsache auf die „dioptrischen Untersuchungen" (1838) von Gauß (1777—1855) zurück. Als ein ganz besonders vervollkommnetes Instrument darf man das Mikroskop betrachten, durch welches das neunzehnte Jahrhundert äußerst wichtige Untersuchungen auf den Gebieten der Zoologie, Botanik, Physiologie, Medizin, Hygiene, Mineralogie usw. verzeichnen kann. Nach dem Vorschlage von Amici suchte man die Vergrößerungskraft durch Immersionssysteme zu erhöhen, bei denen Wasser, Öl oder Glyzerin zwischen Objektiv und Deckglas gebracht wird. Im Jahre 1874 machte Abbe (1840—1905) darauf aufmerksam, daß durch die Beugung der Lichtstrahlen der vergrößernden Kraft der Mikroskope eine selbst durch höchste optische Vollendung unüberschreitbare Grenze gesetzt ist. Im gleichen Jahre behandelte Helmholtz dasselbe Problem auch theoretisch. Er zeigte, daß man im allergünstigsten Falle nur noch $\frac{1}{4000}$ mm unterscheiden kann. Man hat dies auch durch Untersuchung von Glasgittern bestätigen können, wie sie besonders der Optiker Nobert (1806—81) in Greifswald 1846 herstellte. Im Jahre 1903 gelang es Siedentopf und Zsigmondy, durch Benutzung der Beugung „ultramikroskopische Teilchen", bei denen der Durchmesser nur 0,000005 mm beträgt, wahrnehmbar, aber nicht mehr erkennbar zu machen. Man muß leider bei diesem sehr sinnreichen Verfahren darauf verzichten, etwas über die Gestalt jener winzigen Teilchen zu erfahren.

Das für den Mineralogen wichtige Polarisationsmikroskop mit konvergentem Lichte geht im Prinzip auf den Polarisationsapparat (1858) mit parallelem Licht von Nörrenberg

Digitized by Google

(1787—1862) zurück. Bei beiden Instrumenten finden die bekannten von W. Nicol (1768—1851) angegebenen Prismen (1841) zweckmäßige Verwendung. Die Rotationspolarisation hat dadurch technische Bedeutung erlangt, daß sie den Gehalt einer Zuckerlösung auf einfache Weise zu bestimmen gestattet. Das älteste eigens hierzu konstruierte Instrument ist das Saccharimeter (1847) von N. Soleil (1798—1878); das Polaristrobometer (1865) von Wild ist bedeutend empfindlicher. Neuerdings verwendet man besonders gern den Halbschattenapparat von L. Laurent (g. 1840).

Der eben genannte Soleil ist der Erfinder der für Leuchttürme gebrauchten Zonenlinsen. Das Hauptverdienst auf diesem Zweige angewandter Optik gebührt übrigens Fresnel, von dem die sog. dioptrischen und katadioptrischen Leuchtfeuerapparate stammen, deren erster 1823 auf dem Cordouan-Leuchtturm angebracht wurde.

Nach den optischen Telegraphen des Altertums wurde der erste zweckmäßige von Hooke am 21. Mai 1684 in der Royal Society vorgeführt, wurde aber praktisch nicht verwendet. Dieses Glück widerfuhr dem Apparate von Claude Chappe (1763—1805), der sich ertränkte, da man ihm die Priorität an seinem „Semaphor" absprach. Unser optischer Bahntelegraph gleichen Namens ist eine Vereinfachung des Chappeschen Instruments. Die erste optische Telegraphenlinie Paris—Lille mit 22 Stationen auf 30 Meilen wurde im August 1794 eröffnet. Ein Telegramm durchlief den Weg hin und zurück in drei Viertelstunden. Im gleichen Jahre wurde durch den Mechaniker Böckmann in Karlsruhe die erste deutsche Telegraphenlinie gebaut, mit der er erstmals (22. November 1794) dem Markgrafen Karl Friedrich von Baden zum Geburtstage ein Gratulationstelegramm sandte. Frankreich hatte in den dreißiger Jahren 170 optische Telegraphen für Nachrichten aus Paris. Die berühmteste Linie Deutschlands für Staatszwecke von Berlin bis Köln konnte ein Telegramm in 10 Minuten befördern.

Am 9. April 1809 fielen die Österreicher in München ein und vertrieben den Kurfürsten. Bereits am 22. April wurde die Stadt wieder durch Napoleon entsetzt, der aus Paris mit dem optischen Telegraphen herbeigerufen war. Unter dem Eindruck dieser schnellen erfolgreichen Benachrichtigung veranlaßte der bayerische Minister Graf Monngelas den Ana-

Digitized by Google

tomen Sömmering (1755—1830) zur Beihilfe der Akademie für den Bau solcher Telegraphen in Bayern. Sömmering ersann jedoch statt des optischen den ersten elektrischen Telegraphen, von dem im nächsten Abschnitte die Rede sein wird. Trotz der raschen Entwicklung der elektrischen Telegraphie ging die letzte optische Telegraphenlinie (Köln—Koblenz) erst 1853 ein. Außer bei der Bahn wird bekanntlich auch noch beim Militär optisch telegraphiert, durch Winkerflaggen oder mittels der von Kapitän Marryat für Schiffahrtszwecke ersonnenen Flaggensprache oder mit dem von Henry Mance gegen 1875 erfundenen Spiegelheliographen. Dieses Instrument ist aus dem Heliotrop (1820) von Gauß hervorgegangen, der damit bei der hannoverschen Gradmessung signalisierte, und hat besonders bei den Engländern im letzten Burenkriege gute Verwendung gefunden.

Die Elektrizitätslehre.

Die Entwicklung der Elektrizitätslehre und der aus ihr hervorgegangenen Elektrotechnik gibt der Physik des 19. Jahrhunderts ein äußerst charakteristisches Gepräge. Auf diesem Gebiete liegt eine Riesensumme unermüdlicher experimenteller und theoretischer Arbeit vor, die ebenso schwer zu übersehen ist, als die fast endlose Reihe aller hier tätigen Forscher[1]).

Die Keime zu den Forschungen über strömende Elektrizität liegen in den Versuchen, die der Anatomieprofessor zu Bologna Aloisio Galvani (1737—1798) während der Jahre 1780—90 angestellt und in seiner Schrift: „De viribus electricitatis in motu musculari commentatis“ (1791) zuerst beschrieben hat.

Galvani hatte ein Präparat von Froschschenkeln, deren Nerven noch an einem Stück des Rückenmarks hingen, in der

[1]) Die ganz erstaunliche Vielseitigkeit der heutigen Elektrizitätslehre nötigt uns gerade in diesem Kapitel von einer eingehenden Beschreibung von Apparaten möglichst abzusehen. Im Notfall gibt die einschlägige Literatur der Experimentalphysik hinreichende Aufschlüsse, um so mehr als gerade die Lehre von der Elektrizität als das „populärste“ Gebiet der Physik betrachtet zu werden pflegt.

Digitized by Google

Nähe einer Elektrisiermaschine auf eine Tafel gelegt und machte nun die Bemerkung, daß die Schenkel zuckten, wenn man mit der Spitze eines Messers an die Nerven kam. Die Wirkung war stärker und auch leichter zu erzielen, wenn gleichzeitig Funken aus dem Konduktor der Maschine gezogen wurden. Galvani erkannte, daß die Berührung durch einen Leiter erfolgen müsse, konnte aber die offenbare Influenzerscheinung nicht erklären. Er erhoffte besonders starke Wirkungen bei mächtigen elektrischen Funken, den Blitzen. Das traf zwar ein, die Schenkel zuckten aber auch ohne solche Entladungen, so daß Galvani zunächst an einen Einfluß der atmosphärischen Elektrizität überhaupt glaubte. Zur Untersuchung desselben hing er die Schenkel mittels eines Eisenhakens an einem Eisengeländer auf. Gelegentlich erfolgten Zuckungen, die sich aber von der atmosphärischen Elektrizität unabhängig erwiesen. Der Grund der Erscheinungen mußte also ein anderer sein. Die Zuckungen erfolgten auch, wenn man mit einem Eisendraht, der durch das Rückenmark gestochen war, eine eiserne Platte berührte, auf der die Froschschenkel lagen. Benutzte Galvani zum gleichen Zweck einen Draht von Kupfer oder Silber, so war die Wirkung bedeutend stärker. Galvani legte die Schenkel auch auf eine Glasplatte und hielt ein Drahtstück an das Ende der Nerven beim Rückenmark, ein anderes an die Fußmuskeln. Brachte er dann die freien Drahtenden zur Berührung, so erfolgten wieder Zuckungen, die stärker waren, wenn die beiden Drahtstücke aus verschiedenen Metallen, z. B. Eisen und Kupfer oder Silber und Kupfer, bestanden. Galvani suchte nun alle diese umfassenden Versuche daraus zu erklären, daß er einen Muskel als eine Kleistsche Flasche ansah, bei der der Nerv die innere Belegung bildet. Die zahllosen Mißverständnisse über Galvanis Untersuchungen rühren davon her, daß er eigentlich zwei grundverschiedene Dinge entdeckte, die Erzeugung von Elektrizität durch zwei verschiedene metallische und einen feuchten Leiter, sowie die physiologische Elektrizität. Dem Umstand, daß bei Verwendung eines Bogens aus zwei Metallen die Zuckungen viel stärker waren, legte Galvani wenig Bedeutung bei, während die Professoren Gren (1760—98) und Reil (1758—1813) auf die Wichtigkeit der Metalle für diese Versuche hinwiesen. Alessandro Volta (1745—1827), seit 1779 Physiker an

Digitized by Google

der Universität Padua, huldigte zuerst der Meinung Galvanis, die er entsprechend modifizierte. Bei der Wiederholung aller Versuche fand er jedoch, daß die Zuckungen der Froschschenkel auftraten, wenn der Elektrizitätsausgleich nur durch die Kruralnerven erfolgte, was mit Galvanis Erklärung nicht in Einklang zu bringen war. Einen tieferen Einblick gewährte das Experiment von Sulzer (1720—90). Er brachte nämlich (1760) auf und unter die Zunge zwei verschiedene Metallstückchen, die sich am Rande berührten. Er hatte dann eine Geschmacksempfindung wie von Eisenvitriol. Volta stellte diesen Versuch unabhängig von Sulzer auch an (1793). Es gelang ihm mittels seines Kondensators auch nachzuweisen, daß zwei verschiedene Metalle, miteinander in Berührung gebracht, ungleichnamig elektrisch werden („Voltas Fundamentalversuch"), sowie daß auch beim Kontakt von Metallen und Flüssigkeiten Elektrizität erzeugt wird. Indem er nun mehrere „Elemente", je aus zwei verschiedenen Metallen und einem dazwischenliegenden angefeuchteten Lappen bestehend, übereinanderschichtete, entstand die bekannte „Voltasche Säule", die er zuerst am 20. März 1800 in einem Brief gleichzeitig mit seinem handlicheren „Becherapparat" beschrieb. Es ist ein schönes Zeichen von Voltas Edelsinn, daß er Galvanis Studien hochschätzte und sich seit 1796 der von ihm ersonnenen Bezeichnung „Galvanismus" bediente.

Noch in der ersten Hälfte des Jahres 1800 machten Antony Carlisle (1768—1840) und Nicholson, dessen Gewichtsaräometer und Duplikator wir schon erwähnten, die Beobachtung, daß aus einem Wassertropfen auf der obersten Platte einer Voltaschen Säule Wasserstoffblasen aufstiegen, wenn man den von der untersten Platte kommenden Leitungsdraht eintauchte, sowie daß man Wasserstoff und Sauerstoff erhält, wenn man die Elektrizität durch Platindrähte in Wasser leitet. Elektrolytische Zersetzungen ohne Reibungselektrizität hatte 1795 übrigens schon der 1820 verstorbene Dr. Ash in Oxford bemerkt, als er ein Silberstück auf eine befeuchtete Zinkplatte legte, die sich dann mit einem weißen Staube („Zinkkalk") bedeckte. Alexander von Humboldt (1769—1859) bemerkte bei einer Wiederholung des Versuchs (1797) das Aufsteigen von Gasblasen an dem Silberstück. J. W. Ritter (1776—1810) gelang es, im Sep-

Digitized by Google

tember 1800 mit einer Voltaschen Säule von 64 Plattenpaaren auch Ammoniak zu zersetzen, sowie Kupfer aus Kupfervitriol niederzuschlagen. Sein Zersetzungsapparat ist die Urform des heutigen. Die Menge des bei der Wasserzersetzung entstandenen Knallgases diente (1801) dem Professor Simon (1767—1815) zur Bestimmung der „Stärke der Wirkung" verschiedener Säulen in seinem elektrochemischen Galvanoskop, der Urform des Voltameters.

Gautherot (1753—1803) legte (1802) zwei Platindrähte, die er als Elektroden in Salzwasser benutzt hatte, auf und unter die Zunge und beobachtete bei ihrem Kontakt den gleichen Geschmack wie bei dem Versuche von Sulzer. Ritter erhielt dies auch bei Golddrähten und konnte sogar (1803) dadurch Froschschenkel zum Zucken bringen. Im Verfolg dieser Erscheinung schichtete er Kupferplatten, jeweils durch kochsalzgetränkte Pappstücke getrennt, übereinander und ließ den Strom einer Voltaschen Säule hindurchgehen. Löste er die Verbindung nach einigen Minuten, so konnte man mit der „Ladungssäule" alle Versuche wie mit einer Voltaschen anstellen (1803). Er hatte damit den ersten „Akkumulator", der übrigens auch in ausgetrocknetem Zustand noch wirksam war. Erstaunlicherweise erwies sich auch eine Voltasche Säule aus Zink, Kupfer und trockenem Schafleder wirksam. Solche „Trockensäulen" baute Behrens (1775—1813) aus Blättchen von unechtem Gold- und Silberpapier (1806). Er benutzte sie zu einem Elektroskop, das aber meist nach Bohnenberger oder Fechner (1801—87) genannt wird, während man die Säule von Behrens häufig als Erfindung von Zamboni (1776—1846) ausgibt, der sie zu einem „elektrischen Perpetuum mobile" gebrauchte (1812).

Im Jahre 1807 gelang es Davy, durch Elektrolyse aus Ätzkali,das in einem Platinlöffelchen geschmolzen war, das metallische Kalium und ganz entsprechend auch aus Ätznatron metallisches Natrium zu gewinnen. Ebenso gelang ihm (1808) die Zerlegung von Baryt, Kalk, Magnesia und Strontian. Ohne auf die elektrochemische Theorie von Davy und Berzelius (1779—1848) weiter einzugehen, nennen wir hier die bekannte von dem Freiherrn von Grothuß (1785—1822) aufgestellte (1805) Erklärung der elektrolytischen Erscheinungen.

Den durch eine Voltasche Säule erzeugten Funken hatte Volta bei Benutzung eines Kondensators (1800) gesehen,

Digitized by Google

Nicholson ohne diesen. Im Jahre 1801 erkannte Ritter auch den Unterschied zwischen Öffnungs- und Schließungsfunken. Ließ man die Elektrizität der Säule durch dünne Drähte fließen, so erwärmten sie sich und glühten sogar, wie Marum, Pfaff (1773—1852) und Simon konstatierten; ja, es gelang Davy, einen dünnen Eisendraht zu schmelzen. Allerdings verfügte letzterer über starke Ströme. Er konnte z. B. seit 1810 eine Trogbatterie von 2000 Elementen verwenden, die die Royal Institution zu London als Geschenk erhalten hatte. Es glückte ihm damit, wie er 1812 berichtete, den elektrischen Lichtbogen bis zu 4 Zoll Länge zu erzeugen. Er gebrauchte dabei Holzkohlenspitzen, die er geglüht und dann in Quecksilber abgelöscht hatte, um sie durch das eingedrungene Metall leitender zu machen.

Oersted (1777—1851) bezeichnete die Erwärmung der Drähte als dem Widerstande proportional und betrachtete die Funkenbildung als Spezialfall dieses Gesetzes (1818). Davy bemerkte (1821) auch den Einfluß der Substanz. Unter sonst gleichen Umständen fand er für Metalle, die in folgender Reihe weiter nach rechts stehen, die Erwärmung beträchtlicher: *Ag, Cu, Pb, Au, Zn, Sn, Pt, Pd, Fe.* Er fand in demselben Jahre auch die Zunahme des Widerstands eines Leiters bei wachsender Temperatur. Das schwache Glühen eines Drahtes hörte nämlich auf, wenn er den Draht mit einer Flamme an einer Stelle erhitzte. Der Strom war also geschwächt worden, bzw. der Widerstand hatte sich vergrößert.

Wir müssen an dieser Stelle noch der Forschungen über die Elektrizitätserregung gedenken, mit denen sich Volta beschäftigte. Im Jahre 1801 stellte er seine berühmte Spannungsreihe auf: „Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle, Braunstein". Jeder Körper dieser Reihe wird bei Berührung mit einem vorhergehenden negativ elektrisch. Die Spannungsdifferenz zwischen je zwei Stoffen ist um so bedeutender, je größer deren Abstand in dieser Reihe ist. Ferner ist der Spannungsunterschied zwischen irgend zwei Stoffen der Reihe so groß als die Summe aller Spannungsunterschiede von Kombinationen der Zwischenglieder. In einer Kette, die nur aus Metallen besteht, kann kein Strom zustande kommen. Als Volta auch die Spannungsdifferenzen zwischen Metallen und Flüssigkeiten untersuchte, fand er Abweichungen von diesen eben erwähnten Gesetzen. Die

Digitized by Google

Spannung zwischen Wasser und Silber war nämlich etwa so groß als die zwischen Wasser und Zink, während sie 13 mal so groß sein müßte, wenn das Wasser auch in obige Reihe gehörte. Volta nannte alle Körper, die den Spannungsgesetzen gehorchen, Leiter erster Klasse, die übrigen Leiter zweiter Klasse. Gerade die Abweichung der Flüssigkeiten von den Gesetzen Voltas gestattet, durch Wiederholung gewisser Kombinationen (z. B. Zink—Flüssigkeit—Kupfer) die Spannungsunterschiede nach Belieben zu verstärken, was ja Volta bei seiner Säule benutzte. Die Spannungsreihe Voltas wurde 1804 durch Ritter noch mehr erweitert. Er zeigte zugleich, daß die Legierung zweier Metalle nicht zwischen diesen beiden steht, also Messing z. B. nicht zwischen Kupfer und Zink.

Volta verteidigte die vielfach, so von Alexander von Humboldt, angezweifelte Identität der bisher bekannten und der galvanischen Elektrizität, und Nicholson betonte, daß die Voltasche Säule viel Elektrizität von geringer Spannung, die Elektrisiermaschine dagegen wenig Elektrizität, aber von hoher Spannung liefert.

Das Jahr 1820 brachte die für die Entwicklung der ganzen Elektrizitätslehre hochwichtige Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom. Der Gedanke an einen Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus war wohl schon früher gelegentlich aufgetaucht, um so mehr, als Coulomb für diese beiden Gebiete dasselbe Gesetz gefunden hatte. Die Tatsache, daß der Blitz die Kompaßnadel beeinflußen kann, war schon seit dem Jahre 1676 bekannt, aber alle Versuche, durch Reibungselektrizität magnetische Wirkungen zu erzielen, waren mehr oder weniger ergebnislos verlaufen. Es sind Äußerungen von Physikern (vor 1820) vorhanden, die sich auf eine Einwirkung des elektrischen Stromes auf eine Magnetnadel beziehen, doch handelt es sich dabei nur um gelegentliche Vermutungen, so daß der Ruhm der Entdeckung einzig und allein dem dänischen Physiker Oersted gebührt.

Digitized by Google

Oersted hielt im Frühjahr 1820 zu Kopenhagen als ordentlicher Professor der Physik Vorlesungen über Elektrizität, Galvanismus und Magnetismus. Er sagt darüber: „Ich trug die Vermutung vor, daß eine elektrische Entladung auf eine Magnetnadel außer der Kette wirken könne. Ich entschloß mich nun, den Versuch zu machen. Da ich von der mit Glühen vergesellschafteten Entladung das meiste erwartete, wurde ein sehr feiner Platindraht in die Kette da eingeschaltet, wo die Nadel untergestellt wurde. Die Wirkung war zwar unverkennbar, aber doch so verworren, daß ich die weitere Untersuchung auf eine Zeit verschob, wo ich mehr Muße zu haben hoffte. Im Anfang des Monats Juli wurden diese Versuche wieder aufgenommen und unausgesetzt verfolgt." Über das Ergebnis berichtete Oersted in der nur sechs Seiten füllenden Abhandlung: „Experimenta circa effectum conflictus electrici in Acum magneticam" (21. Juli 1820). Die Ablenkung der Nadel wird darin sehr umfassend untersucht und durch folgendes Gesetz angegeben: „Der Pol, über dem die negative Elektrizität eintritt, wird nach Westen, der Pol aber, unter dem sie eintritt, nach Osten abgelenkt." Oersteds Arbeit machte überall berechtigtes Aufsehen. Im Augustheft (1820) des Schweiggerschen Journals publizierte Oersted eine weitere Abhandlung, in der er darauf hinweist, daß der Leitungsdraht bei dem Ablenkungsversuch keineswegs, wie man ursprünglich angenommen, glühend zu sein brauche. Zugleich gibt Oersted an, es sei ihm gelungen, die Ablenkung eines Stromkreises durch einen Magneten zu erzielen.

Biot und Savart waren die ersten, die für die Ablenkung der Nadel durch den galvanischen Strom das mathematische Gesetz veröffentlichten [30. Oktober 1820][1]). Oersted hatte

[1]) Vgl. Sammlung Göschen Nr. 186, S. 167.

Digitized by Google

seine erste Schrift direkt an berühmte Physiker und gelehrte Gesellschaften gesandt, wodurch man sich mit Feuereifer der neuen Erscheinung sofort zuwandte. Aus der großen Zahl der einschlägigen Untersuchungen nennen wir diejenigen von Ampère (1775—1836). Indem er die Richtung der strömenden positiven Elektrizität — was wir bis heute beibehalten haben — als Stromrichtung bezeichnete, stellte er (2. Oktober 1820) seine berühmte Schwimmregel auf.

Ampère konnte ferner zeigen, daß zwei parallele Ströme sich anziehen bzw. abstoßen, wenn sie gleiche bzw. verschiedene Richtung haben. Bei diesen Arbeiten bediente er sich des auch heute noch im Unterricht üblichen, seinen Namen tragenden Gestells mit den verschiedenen Drahtfiguren. Indem er an Stelle eines Drahtkreises zur Verstärkung der Wirkung eine Drahtspirale benutzte, erhielt er das.... 1822 von ihm so benannte.... Solenoid, das sich als künstlicher Magnet erwies. Ampère sah sich dadurch zu seiner bekannten Theorie des Magneten veranlaßt, unter Annahme von Molekularströmen, sowie zu der Hypothese eines Erdstroms in ostwestlicher Richtung.

Außer den erwähnten Arbeiten lieferte Ampère auch wichtige theoretische Untersuchungen über die elektrodynamischen Wirkungen des Stromes. Er gab die „Formel, aus der man alle Phänomene, wie sie die Elektrizität darbietet, ableiten kann, und die für alle Zeiten die Kardinalformel der Elektrodynamik bleiben wird" (Maxwell).

Den ersten Elektromagneten stellten Arago und sein Freund Gay-Lussac her, indem sie eine Stahlnadel in eine stromdurchflossene Drahtspirale einführten. Sie sahen den Leitungsdraht selbst als Magneten an und fanden auch, daß er Eisenfeilspäne anzieht, selbst wenn er gar nicht aus Eisen, sondern aus Kupfer, Platin usw. war (September 1820). Im November des gleichen Jahres zeigte Thomas Johann Seebeck (1770—1831), daß man eine Stahlnadel auch durch Streichen über einen stromdurchflossenen Kupferdraht magnetisieren kann.

In einer Sitzung der Naturforschenden Gesellschaft zu Halle am 16. September 1820 wies Schweigger (1779—1857) darauf hin, daß man eine verstärkte Wirkung eines Stromes auf eine Magnetnadel erzielen könne, wenn man den Leitungsdraht ein oder mehrere Male um die Nadel herumführe, ja

Digitized by Google

daß ein solcher Apparat schon hinreiche, um „die Versuche Oersteds bloß mit kleinen Streifen von Zink und Kupfer, die in Salmiakwasser getaucht sind, wiederholen zu können". Seebeck nannte den Apparat Schweiggers wegen seiner vervielfachenden Wirkung auf die Nadel „Multiplikator". Im Mai 1821 ließ sein Kollege Erman (1764—1851) eine Schrift erscheinen, in der er ein ganz ähnliches Instrument beschreibt, das von Poggendorff (1796—1877) stammt und von diesem erstmals als Meßapparat benutzt wurde. An Stelle des von Erman dafür gegebenen Namens „Kondensator" gab Ampère den entschieden besseren „Galvanometer". Es gebührt jedoch keineswegs dem französischen Physiker die Priorität bei diesem wichtigen Meßinstrument, wohl aber hat er die sog. astatische Nadel erfunden, um die Wirkung des Erdmagnetismus aufzuheben. Er verband nämlich zwei Magnetnadeln von möglichst gleichem Moment, deren gleichnamige Pole nach entgegengesetzten Richtungen wiesen, durch ein Stückchen Messing miteinander (1821). Führt man den Leitungsdraht zwischen beiden Nadeln durch, so wirkt er auf beide in gleicher Weise. Ampère benutzte das astatische Nadelpaar aber keineswegs für ein Galvanometer. Dies tat erst Nobili 1825, ein Jahr nachdem Cumming (1777—1861) die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Galvanometernadel durch die noch heute üblichen Richtungsmagnete aufzuheben lehrte.

Bevor wir zu den Untersuchungen über Thermoelektrizität übergehen, vervollständigen wir unseren Bericht über die Einwirkung zwischen strömender Elektrizität und Magnetismus. Faraday (1791—1867) konnte unterm 11. September 1821 berichten, daß es ihm gelungen sei, die Rotation eines beweglichen Stromleiters um einen festen Magnetpol zu erzielen und ebenso auch die Rotation eines beweglichen Magnetpols um einen festen Stromleiter. Erwähnt sei, daß Faraday hierbei als Stromquelle den seiner starken Wärmeentwicklung wegen so genannten „Kalorimotor" (1819) von Hare (1781—1858) benutzte. Davy konnte in vollem Einklange mit der Theorie den elektrischen Lichtbogen, der einen beweglichen Strom-

leiter repräsentiert, durch einen genäherten Magneten ablenken, ja ihn sogar in Rotation versetzen. Faradays Ergebnisse ließen Ampère nicht ruhen. Schon am 30. Oktober 1821 konnte er einen anderen Apparat vorführen, der die Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magnetpol zeigte, und endlich glückte ihm (10. Dezember 1821), im Gegensatz zu Faraday, auch die Rotation eines Stromes unter dem Einfluß des Erdmagnetismus zu demonstrieren. Ampère überholte Faraday noch in zwei weiteren Punkten, mit der Rotation eines Magneten um die eigene Achse unter dem Einfluß eines Stromes und mit der Rotation eines geraden Stromleiters um seine Achse unter dem Einfluß eines Magneten.

Im Jahre 1823 konnte Davy auch die Rotation von stromführenden Flüssigkeiten unter dem Einfluß eines Magneten nachweisen, was später besonders deutlich durch Fechner (1801—87) demonstriert wurde. Zum Abschluß seien nur genannt das schwimmende Element (1821) von Gaspard de la Rive (1770—1834), das sich senkrecht zum magnetischen Meridian einstellt, sowie das Rädchen (1822) von Barlow (1776—1862), das durch Annäherung eines Magneten in Drehung versetzt wird.

Im Verfolg der Versuche Oersteds glaubte Seebeck (1821), eine neue Art von Magnetismus gefunden zu haben. Von diesem „Thermomagnetismus" handelt seine Publikation: „Über die magnetische Polarisation der Metalle durch Temperaturdifferenz". Er erstreckte seine Untersuchungen auf „Erscheinungen, welche ihm anzudeuten schienen, daß auch wohl zwei Metalle für sich, kreisförmig miteinander verbunden, ohne Mitwirkung irgend eines feuchten Leiters magnetisch werden". Das eine Ende eines Multiplikatordrahtes endigte in einer Kupferscheibe, auf die er eine Platte von Wismut legte. Drückte Seebeck nun mit der Hand das andere Drahtende auf letztere, so wurde die Galvanometernadel abgelenkt. Dasselbe erfolgte, allerdings in entgegengesetztem

Digitized by Google

Sinne, wenn er Antimon an Stelle des Wismuts benutzte. Seebeck überzeugte sich bald, daß die Erscheinung durch die Wärme der Hand verursacht wurde. Im weiteren Verfolg konstruierte er dann ein „Thermoelement", wie wir es noch heute zur ersten Demonstration verwenden, aus einem Rechteck von zwei zusammengelöteten Metallstreifen, in dem sich auf einer Spitze eine Magnetnadel drehen kann, die abgelenkt wird, sobald man die eine Lötstelle erwärmt oder abkühlt. Es gelang ihm auch (Februar 1822), eine thermoelektrische Spannungsreihe aufzustellen, die später in der Hauptsache von W. G. Hankel (1814—98) bestätigt worden ist. Seebeck konstruierte auch die erste thermoelektrische Säule aus Wismut und Antimon und erkannte, daß die Stromstärke, oder wie er sagte, die „Stärke der magnetischen Polarisation" mit zunehmender Temperaturdifferenz wohl wächst, ihr und der Anzahl der Erwärmungsstellen aber nicht proportional ist. Im Jahre 1823 baute Oersted die erste Säule zur Untersuchung der Wärmestrahlung, doch waren die von Nobili und Melloni seit 1830 konstruierten Säulen für diesen Zweck viel geeigneter. Die direkte Messung des Wärmegrads eines Körpers durch Einsenken einer Lötstelle eines Neusilber-Eisenelements geht anscheinend auf Poggendorff zurück (1840). Die Verwendung von Thermosäulen als Stromquelle für technische Zwecke oder im Laboratorium wurde vielfach angestrebt und durch passende Konstruktionen zu erreichen gesucht. Wir nennen die Säulen von Mure und Clamond (1869), Noë (1870) und Gülcher (1887).

Außerordentliches Aufsehen erregte die 1834 von Peltier (1785—1845) aufgefundene Tatsache, daß eine Lötstelle eines Thermoelements sich erwärmt oder abkühlt, wenn man in dieses einen Strom hineinleitet („Peltiereffekt"). H. F. E. Lenz (1804—65) konnte dadurch sogar Wasser zum Gefrieren bringen (1838). Es zeigt sich stets, daß die beim Einleiten von Strom in ein Thermoelement an der Lötstelle entstehende Peltierwärme schwächend auf den eingeführten Strom wirkt.

Wir erwähnen gleich hier noch den sog. Thomsoneffekt, die von William Thomson (g. 1824), jetzt Lord Kelvin, bemerkte Tatsache (1856), daß sich auch in einem Metallstück Strom entwickelt, wenn Temperaturunterschiede in ihm vorhanden sind.

Digitized by Google

Das erste Jahrhundertviertel weist, wie wir bisher gesehen haben, ein reiches Tatsachenmaterial auf, ohne daß man sich jedoch eingehenderen Forschungen über die Größenverhältnisse der elektrischen Wirkungen zugewandt hätte. Nur ganz vereinzelt begegnet man kurzen Notizen. Bei der Untersuchung (1805) des Einflusses, den eine Vermehrung oder eine Vergrößerung der Platten einer Voltaschen Säule auf deren Wirkung hat, hatte z. B. Ritter den Satz ausgesprochen: „Der Effekt der Säule hängt bei gleicher Spannung von der Summe der Leitungen in der Säule und dem schließenden Bogen ab.“ Davy konstatierte bei einer schon früher erwähnten Arbeit, daß der Widerstand, den jeder Draht einem Strom entgegensetzt, seiner Länge direkt und seinem Querschnitt indirekt proportional ist.

Der schweren, aber auch sehr dankbaren Arbeit, alle in Betracht kommenden Faktoren in ihrer gegenseitigen Beziehung zu untersuchen, hat sich ein deutscher Physiker Georg Simon Ohm (1787—1854) unterzogen. Im Jahre 1825 machte er die Beobachtung, daß die Stromstärke einer galvanischen Kette nach dem Stromschluß sehr schnell abnimmt, jedoch wieder bis zum ursprünglichen Betrage anwächst, wenn die Kette zuvor längere Zeit geöffnet gewesen ist. Er benutzte wegen dieses Übelstandes, auf den Rat von Poggendorff hin, zu seinen Studien ein Thermoelement aus Kupfer und Wismut, dessen Lötstellen sich in kochendem Wasser und in schmelzendem Eise befanden. Ohm untersuchte mit dem konstanten Strome dieses Elements die Leitfähigkeit der Metalle und konnte (1826) die Formel

$$X = \frac{a}{b + x}$$

aufstellen, „wo X die Stärke der magnetischen Wirkung auf den Leitern, deren Länge x ist, a und b aber konstante, von der erregenden Kraft und dem Leitungswider-

Digitized by Google

stande der übrigen Teile der Kette abhängige Größen bezeichnen."

Im Jahre 1827 publizierte Ohm, damals Lehrer an der Berliner Kriegsschule, zu Berlin eine Schrift: „Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet", die sein berühmtes Gesetz enthält.

Die große Bedeutung des Ohmschen Gesetzes wurde leider viel zu wenig beachtet, besonders im Ausland, wo man viel mehr Wert darauf legte, daß der Franzose Pouillet (1790 bis 1868) im Jahre 1837 genau dasselbe Gesetz aufstellte, in einer Arbeit, in der er auch seine Tangenten- und Sinusbussole beschrieb, deren Idee auf G. de la Rive (1824) zurückgehen soll. Vor Pouillet hatte übrigens Fechner (1801—87) in seinen „Maßbestimmungen" (1831) das Gesetz Ohms vollauf bestätigt, was für Flüssigkeiten auch von R. H. Kohlrausch (1809—58) seit 1848 und W. Beetz (1822—86) seit 1865 geschah. Am 30. November 1840 ehrte die Royal Society durch Verleihung der Copley-Medaille die Verdienste Ohms, aber erst Wheatstone wies 1843 in einer Arbeit, in der er auch seinen „Rheostaten" angab, darauf hin, wie nötig es sei, sich die scharfen Begriffe Ohms für Stromstärke und Widerstand anzueignen. Er selbst hat davon einen schönen Gebrauch bei der seinen Namen tragenden Vorrichtung (Wheatstones Brücke 1843) gemacht. Sie stellt sich als Spezialfall der Stromverzweigungen dar, für die Kirchhoff 1847 seine bekannten Gesetze angab.

Von ganz ungeheurer Bedeutung für die Elektrizitätslehre ist das Gebiet der Induktionserscheinungen geworden, zu dem uns Michael Faraday (22.IX.1791 bis 25.VIII. 1867) die Wege erschlossen hat. Wie er selbst angibt, führte ihn dazu eine Beobachtung von Ampère und eine andere von Arago. Ampère hatte einst bei seinen elektrodynamischen Arbeiten einen isolierten Kupferring innerhalb eines kreisförmig gebogenen Stromleiters aufgehängt und bemerkt, daß er von einem genäherten Magneten angezogen wurde. Er verfolgte jedoch diese Erscheinung

Digitized by Google

nicht weiter. Arago hatte im Jahre 1824 bemerkt, daß die Schwingungen einer Magnetnadel durch untergelegtes Kupfer stark gedämpft wurden. Im März 1825 war es ihm sogar gelungen, eine Magnetnadel durch eine darunter rotierende Kupferscheibe abzulenken und auch schließlich in Drehung zu versetzen. Arago nahm zur Erklärung den besonderen „Rotationsmagnetismus" an, ohne jedoch tiefer in sein Wesen einzudringen. Der Vorschlag, diese Erscheinung zur Dämpfung von Kompaß- und Galvanometernadeln zu verwenden, stammt vermutlich von Seebeck (1826).

Faraday wickelte auf eine Holzrolle nebeneinander zwei gut isolierte Drähte von 62 m Länge. Die Enden des einen Drahtes standen mit einer galvanischen Kette, die Enden des anderen mit einem Galvanometer in Verbindung. Solange der Strom im ersten Drahte floß, blieb die Magnetnadel in Ruhe, gab aber sofort einen kurzen Ausschlag, wenn man den Strom der Kette öffnete oder wieder schloß. Faraday erkannte, daß der „Induktionsstrom" (im zweiten Draht) beim Öffnen dieselbe, beim Schließen jedoch die entgegengesetzte Richtung hat wie der „induzierende Strom" (im ersten Draht). Durch Nähern bzw. Entfernen oder durch Verstärken bzw. Abschwächen des „primären" Stromes erzielte man dasselbe wie durch Schließen bzw. Öffnen. Außer dieser „Voltainduktion", wie er sie nannte, entdeckte Faraday im gleichen Jahre 1831 auch die „Magnetinduktion", die möglich sein mußte, wenn Ampères Anschauung vom Wesen des Magneten richtig war. Wenn Faraday von einem Magneten, der mit einer Drahtspule umwickelt war, den Anker abriß, so entstand in der Spule ein kurzer Strom, der sich in einem Galvanometer anzeigte. Der beim Anlegen des Ankers entstehende Stromstoß hatte die entgegengesetzte Richtung. Denselben Erfolg hatte Faraday, wenn er einen Magneten einer Draht-

Digitized by Google

spule näherte bzw. von ihr entfernte oder, was begreiflicherweise auf dasselbe hinausläuft, die Spule bewegte und den Magneten festhielt. Ob Faraday einen natürlichen, künstlichen oder durch den galvanischen Strom erzeugten Magneten zu diesen Versuchen benutzte, war für den Erfolg ohne Bedeutung. Es gelang daher Faraday, auch durch den Erdmagnetismus in einer bewegten Drahtspirale Induktionsströme zu erzeugen.

Die Möglichkeit, mit einem Magneten in einem Stromleiter durch Bewegung einen Strom hervorzurufen, gab Faraday die Erklärung für den Rotationsmagnetismus in die Hand. Er erkannte das Auftreten von Induktionsströmen in der Kupferplatte bei den Experimenten Aragos und konnte dies durch einen staunenerregenden Versuch auch beweisen. Ließ er nämlich eine Kupferscheibe zwischen den Polen eines kräftigen Magneten rotieren, so konnte er durch zwei Schleifdrähte an der Achse und dem Rand der Scheibe einen andauernden elektrischen Strom abnehmen.

Lenz (1804—65) lieferte 1834 den Nachweis, daß die Erscheinungen der Induktion vollständig dem Prinzip von der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung entsprechen, und stellte sein bekanntes Gesetz über die Richtung der Induktionsströme auf, welches aussagt, daß der entstehende Strom die ihn erzeugende Bewegung aufzuheben versucht. Dieses Lenzsche Gesetz ist zwar stets anwendbar, wurde aber im Laufe der Zeit durch bequemere Regeln ersetzt, so durch Faraday unter Verwendung seines Kraftlinienbegriffs, ferner durch die „Dreifingerregel rechter Hand" von J. A. Fleming (1884), sowie durch die Regeln von Maxwell und Zepf (1896). Lenz fand 1835, daß die elektromotorische Kraft des Magnetinduktionsstromes der Zahl der Drahtwindungen der Spule proportional ist, von deren Weite jedoch nicht abhängt. Felici und Gaugain (1810—78), bekannt durch eine besondere Konstruktion der Tangentenbussole, stellten in den fünfziger Jahren die entsprechende Untersuchung auch für die Voltainduktion an.

Digitized by Google

Jenkin (1833—85) und Masson (1806—60) machten etwa gleichzeitig (1834) die Beobachtung, daß der Öffnungsfunke einer galvanischen Kette stärker wurde, wenn eine Drahtspule eingeschaltet war, sowie daß eine erhöhte Windungszahl oder ein eingesteckter Eisenkern diese Wirkung verstärkte. Faraday konnte (1835) die richtige Erklärung geben: der in einer Windung verschwindende Strom induziert einen gleichgerichteten in den Nachbarwindungen, den verstärkenden „Extrastrom". Auch beim Schließen entsteht ein solcher, der jedoch die entgegengesetzte Richtung hat und dadurch schwächt. Aus den späteren Zeiten liegen besonders Arbeiten von M. H. Jacobi (1801—74) aus dem Jahre 1838 und von Helmholtz (1851) über diese Extraströme vor.

Die Erscheinungen der Induktion bestärkten Faraday in seiner Anschauung, daß galvanische und Reibungselektrizität dem Wesen nach identisch seien, und daß nur ein Unterschied bezüglich der Menge und der Spannung bestehe. Er gibt an (1833), die Menge Elektrizität, mit der sich ein Gran Wasser zerlegen lasse, könne eine große Leidener Flasche 800000mal füllen und bei plötzlicher Entladung wie ein starker Blitz wirken. Dabei zeigte er, daß man Wasser auch durch den Entladungsstrom einer Leidener Flasche zersetzen kann. Für die von ihm genau untersuchte chemische Wirkung elektrischer Ströme konnte er das wichtige elektrolytische Grundgesetz aufstellen: „Gleiche Mengen Elektrizität zerlegen äquivalente Mengen der Elektrolyten." Letztere Bezeichnung ebenso wie: Anode, Kathode, Elektrode, Ionen, Anion, Kation usw. hat Faraday geschaffen, um eine präzise Ausdrucksweise zu ermöglichen. Über den eigentlichen Zersetzungsvorgang, die Wanderung der Ionen, liegen Arbeiten von Grothuß (1785—1822) 1820 und Hittorf (g. 1824) 1853 ff. vor,

Digitized by Google

auf die (1887) Svante Arrhenius (g. 1859) zurückgekommen ist.

Faraday erkannte auch, daß die Menge zersetzter Substanz der Stromstärke proportional ist, und gründete darauf sein Voltameter, für das er die mannigfachsten, noch heute üblichen Formen angab. Veranlaßt durch seine elektrochemischen Studien, griff er in den bis in die sechziger Jahre währenden Streit zwischen der reinen Kontakttheorie und der chemischen Theorie für die Elektrizitätserregung besonders beim Voltaschen Fundamentalversuch ein und vertrat mit aller Energie (1840) die Ansicht, daß ein chemischer Prozeß die Ursache der Elektrizitätserzeugung sei, die Kontakttheorie postuliere „die Erschaffung einer Triebkraft aus Nichts", was widersinnig sei. Schönbein (1799—1868) gab dann (1844) eine vermittelnde Theorie, der sich Helmholtz (1847) und nach ihm auch die andern Physiker anschlossen.

Auf Grund der elektrochemischen Forschungen Faradays konnte man an die Herstellung konstanter Elemente herantreten, nachdem schon Ritter und nach ihm (1826) Marianini (1790—1867) die Schwächung der Voltaschen Säule durch Polarisation bemerkt hatten. Das (1830) von Sturgeon (1783—1850) eingeführte Amalgamierungsverfahren sollte keine Konstanz der Batterie, sondern nur eine Herabsetzung des Zinkverbrauchs ermöglichen. Daniell (1790—1845) baute sein bekanntes Element im Jahre 1836, benutzte aber als Scheidewand eine Ochsengurgel, die bald darauf von Gassiot (1797—1877) durch eine poröse Tonzelle ersetzt wurde. Zum Anbringen der Leitungsdrähte gebrauchte man noch Quecksilbernäpfe, erst Poggendorff gab (1840) die zweckmäßige Klemmschraube an. Meidinger (g. 1831) modifizierte 1859 das Element Daniells in bekannter Weise. Grove (1811—96) benutzte bei seinem Element (1839) zuerst rechteckige Gefäße, während Poggendorff (1841) sie durch zylindrische ersetzte und das S-förmige Platinblech einführte. Cooper nahm an Stelle des teuren Platins Graphit oder Kohle (1840) und Schönbein im gleichen Jahre Retortenkohle. Das Verdienst von Bunsen besteht darin, daß er eine besonders brauchbare Kohle für das Element angab, die dem Platin in der Spannungsreihe sehr nahe kommt (1841). Hawkins benutzte (1840) an Stelle von Platin oder Kohle

Digitized by Google

das Eisen, was durch die (1837) von Schönbein „Passivität" genannte Eigenschaft dieses Metalles möglich ist. Bunsen verwendete an Stelle der Salpetersäure (1841) Chromsäure, die von besonderer Wichtigkeit durch die Flaschenelemente (Grenet 1856) und die Tauchbatterien geworden ist. Recht zweckmäßig für Klingeln, Telephone usw. ist das Element (1868) von Leclanché (1839—82), das in dem „Trockenelement" des Doktors Gaßner (1888) eine äußerst handliche Form bekommen hat. Außer der Batterie des Engländers Smee (1818—77) nennen wir noch die Chlorsilberelemente, die auf Pincus (1868) zurückgehen.

Nur für Maßzwecke ist das Kalomelelement von Helmholtz (1882) bestimmt, sowie das Normalelement (1878) von Latimer Clark, für das Rayleigh 1884 die zweckmäßigere H-Form angegeben hat. Im gleichen Jahre ersetzte Czapski — und nach ihm Weston 1893 — das Zink durch Kadmium und verringerte dadurch den Temperatureinfluß.

Unsere frühere Darstellung hat Faradays Schaffen noch lange nicht erschöpft. Er untersuchte z. B. (1838) die Wirkungsweise der elektrischen Kräfte. Während man früher eine reine Fernwirkung, eine „actio in distans", für möglich angesehen hatte — nicht nur für die Gravitation nach dem Vorgange Newtons, sondern auch für die Elektrizität —, erkannte Faraday vielmehr, daß die Erscheinung der Influenz sehr wesentlich von dem Medium, dem „Dielektrikum", abhängt, wie er an einem Verteilungsapparat ermittelte, der mit den verschiedensten isolierenden Stoffen gefüllt werden konnte. Es gelang Faraday, damit „die Stärke des spezifischen Induktionsvermögens" [Dielektrizitätskonstante] für eine größere Reihe von Substanzen zu bestimmen. Im Jahre 1839 erforschte er auch die verschiedenen Arten der vom Dielektrikum abhängigen Entladung und legte damit den Grund zu den späteren Versuchen über den Durchgang der Elektrizität durch den leeren Raum. Sein Ausspruch, daß wir dem Studium der Entladungserscheinungen noch wichtige Aufschlüsse ver-

Digitized by Google

danken werden, bestätigt sich in unseren Tagen. Die Einwürfe, die besonders von deutschen Physikern, vor allem von P. Th. Rieß (1805—83), gegen Faradays Ansichten vom Dielektrikum geltend gemacht wurden, widerlegten sich in der Hauptsache selbst.

Faraday nahm erst später diese Arbeiten wieder auf. Er gab noch vorher (1838) den bekannten Beweis für den Sitz der Elektrizität auf der Oberfläche eines Leiters mit einem aus Drahtnetz und Stanniol gefertigten Würfel von 3 m Seitenlänge, in dem er, mit sehr feinen Elektroskopen versehen, trotz starker Elektrisierung der Wände nicht die geringste Spur von Elektrizität nachweisen konnte.

Eine Arbeit von 1843 gibt eine Erklärung der Dampfelektrizität. Im Jahre 1840 hatte nämlich ein Maschinenwärter bei Newcastle on Tyne einen elektrischen Schlag erhalten, als er mit der einen Hand das Sicherheitsventil eines Dampfkessels erfaßte und gleichzeitig die andere Hand in ausströmenden Dampf hielt. Armstrong hatte dann gezeigt, daß Dampf, der aus einer isolierten Lokomotive entweicht, positiv, der Kessel aber negativ elektrisch ist, und darauf die Einrichtung seiner „Dampfelektrisiermaschine“ (1843) gegründet.

Faraday war durch seine Studien über den Einfluß des Dielektrikums auch auf die Frage nach dem Einfluß des Mediums bei der Magnetisation geführt worden. Sein erster Erfolg war die Entdeckung der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene des Lichts (1846) in einer Reihe von Substanzen. Die Drehung war am stärksten für Faradays Kristallglas [Borosilikat von Blei], das Ergebnis einer chemischen Arbeit der Jahre 1825—30. Faraday vertrat die Ansicht, der Magnetismus wirke bei seinen Versuchen direkt auf den Lichtäther, und redete daher von einer „magnetization of light“. Die nächste

Digitized by Google

Arbeit Faradays bezieht sich auf den „Diamagnetismus". Die bezüglichen Tatsachen waren schon früher gelegentlich bemerkt worden. Brugmans in Leiden (1763 bis 1819) hatte nämlich eine Abstoßung des metallischen Wismuts von den Magnetpolen bemerkt, wenn er diese Substanz auf Wasser oder Quecksilber in einem Schiffchen schwimmen ließ. A. C. Becquerel hatte (1827) die entsprechende Beobachtung auch für Antimon mit dem Sideroskop von Lebaillif (1827) gemacht.

Als Faraday ein Stück seines Kristallglases zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagneten brachte, stellte es sich nicht wie Eisen in die Verbindungslinie der Pole („axial"), sondern senkrecht dazu („äquatorial"). Substanzen, die sich ebenso verhielten wie das Glas, nannte er „diamagnetisch", alle übrigen „paramagnetisch". Es gelang ihm zu zeigen, daß sich alle Substanzen hinsichtlich der Magnetisierbarkeit in diese zwei Gruppen einteilen lassen (1846—48). Die Arbeit über „Magnetkristallkräfte" (1849) lieferte das Resultat, daß nicht die äußere Form, sondern die optischen Achsen die para- bzw. diamagnetische Eigenschaft einer Substanz hervorrufen. Damit war ein neuer Zusammenhang zwischen Optik und Magnetismus bzw. Elektrizität aufgefunden.

Indem Faraday die Magnetkraftlinien in die Physik einführte (1852), ging er über den traditionellen Begriff der Kräfte hinaus und schuf über deren Wirkungen gänzlich neue Anschauungen, mit deren Ausgestaltung wir uns hier jedoch nicht befassen dürfen, weil sie uns in die außer dem Rahmen dieser Schrift liegende Entwicklungsgeschichte der physikalischen Prinzipien führen würde. Ebendeshalb beschränken wir uns hinsichtlich der eng mit Faradays Kraftlinienlehre zusammenhängenden Potentialtheorie und des Weberschen Gesetzes auf kurze Angaben. Nach der theoretischen Arbeit von Poisson (1781—1840) „über die Verteilung der Elektrizität auf der Oberfläche von Leitern" (1811) machte

Digitized by Google

erst Green (1793—1841) die mathematische Analyse der theoretischen Elektrostatik dienstbar (1828), woran sich tüchtige Arbeiten von Gauß (1839), sowie von Kirchhoff, Clausius und Helmholtz anschlossen, die die große Bedeutung des Potentialbegriffs für die Elektrizitätslehre dartaten und zeigten, wie man selbst an die schwierigsten Probleme herantreten kann. Untersuchungen über die Gültigkeit des früher erwähnten elektrodynamischen Grundgesetzes von Ampère gaben den Ausgangspunkt zu den Arbeiten von W. Weber (1804—91), die ihn zu seinem berühmten elektrischen Kraftgesetz führten, das eine Flut neuer Arbeiten erzeugte, die bald dafür, bald dagegen waren oder Erweiterungen lieferten. Es beteiligten sich besonders Franz Ernst Neumann (1798—1894) und sein Sohn Karl (g. 1832), ferner Helmholtz, Clausius, B. Riemann (1826—66), Edlund (1819—82) und Hankel (1814—98).

Daß der Potentialbegriff auch für den Magnetismus verwendbar ist, zeigte Gauß, dem wir zugleich schätzenswerte Aufschlüsse über den Erdmagnetismus verdanken, was besonders durch die von Gauß und A. v. Humboldt veranlaßte Gründung des Magnetischen Vereins ermöglicht wurde. Die „Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins 1836—41" (Göttingen), herausgegeben von Gauß und Weber, belehren uns über die eingeschlagenen Wege und die eigens dafür erfundenen Apparate: das Unifilar- und das Bifilarmagnetometer von Gauß (1837 u. 38) und das Inklinatorium von Weber (1837). Man findet dort auch die Theorie des Erdmagnetismus von Gauß und dabei die Angabe, der magnetische Südpol müsse in der Inselwelt der nordwestlichen Durchfahrt liegen. Der Mathematiker Hansteen (1784—1873) hatte diesen Punkt früher vergeblich gesucht, am 1. Juni 1841 entdeckte ihn John Roß (1777—1856) auf Boothia Felix.

Früher hatte man die magnetischen Werte nur auf relative Größen zurückgeführt; erst Gauß bezog sie auf Länge, Maße und Zeit[1]) und wählte als Grundlage für das „absolute Maßsystem" Millimeter, Milligrammaße und Sekunde. Später nahm man bequemer die Centimeterlänge, Grammaße und Sekunde (C-G-S.-System).

[1]) „Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata." Comment. soc. reg. Gotting. recent. VIII. 1832.

Digitized by Google

Jacobi (1801—74) hatte 1846 für die Elektrizität als Widerstandseinheit einen Kupferdraht von bestimmten Größenverhältnissen in Benutzung gebracht, die sich jedoch wenig bewährte. Werner Siemens (1816—92) schlug dann 1860 die nach ihm benannte Quecksilbereinheit vor. Eine von der British Association for advancement of science und der Royal Society eingesetzte Kommission (1861) nahm das Zehnmillionfache der von Weber vorgeschlagenen absoluten Einheit des Widerstands (im Mm-Mg-S.-System) an. Der internationale Elektrikerkongreß zu Paris (1881) akzeptierte dann das Tausendmillionfache der absoluten Widerstandseinheit des C-G-S.-Systems. Daraus ergaben sich dann alle übrigen Einheiten, womit sich der internationale Elektrikerkongreß zu Paris (1889) endgültig einverstanden erklärte. An der Bestimmung des Ohm hat eine große Reihe von Forschern gearbeitet. Außer schon erwähnten nennen wir: 1874 Fr. Kohlrausch (g. 1840), 1882 Dorn (g. 1848), Glazebrook, Rayleigh, 1883 Wild, 1884 G. Wiedemann (1826 bis 1898), Fr. Weber, Roiti, 1885 Lorenz, Himstedt (g. 1852) u. a. m.

Unsere amtlichen Bestimmungen über die Werte der elektrischen Einheiten stammen aus Resolutionen (1893) des Kuratoriums der 1872 gegründeten Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg. Ein Gesetz vom 1. Juli 1898 mit Ausführungsbestimmungen vom 6. Mai 1901 hat für Deutschland die technischen Einheiten festgelegt.

Aus der riesigen Reihe elektrischer Meßinstrumente, deren wir gleich hier gedenken wollen, können wir natürlich nur wenige nennen, so für elektrostatische Arbeiten das Sinuselektrometer (1853) von R. Kohlrausch (1809—58), das absolute und das Quadrantelektrometer (1855) von William Thomson und das Kapillarelektrometer von Lippmann (1873), ferner die Elektroskope von Exner (g. 1849) 1887 und F. Braun (g. 1850) 1887. Bei empfindlichen Galvanometern mißt man nach dem Vorgang von Poggendorff (1826) die Ausschläge der Magnetnadel durch Spiegelablesung. Wir führen hier einige der seit 1852 konstruierten Galvanometer an, die von G. Wiedemann (1853), Deprez (g. 1843) und d'Arsonval (1882), H. Dubois und Rubens (1893) und endlich von Quincke (1893). Aus der Reihe der Elektrodynamometer verzeichnen wir diejenigen von W. Weber (1846), Fröhlich (1878), Hill (1880),

Digitized by Google

Maxwell (1881), sowie Siemens und Halske (1881). Sehr verbreitet für elektrische Kraftanlagen ist der Strommesser von Hummel (1884).

Zum Zwecke erleichterter Verständigung hatten Gauß und Weber einen elektrischen Telegraphen eingerichtet. Die Versuche, die Elektrizität zur Zeichengebung zu verwenden, ist sehr alt; Schriften des achtzehnten Jahrhunderts enthalten die absonderlichsten Vorschläge in dieser Richtung. Im Jahre 1796 probierte Dr. Salva in Madrid einen Telegraphen, bei dem Funkenzeichen gegeben wurden. Er fand jedoch ebensowenig praktische Verwertung als der 1798 von Augustin de Bétancourt zwischen Madrid und Aranjuez eingerichtete, bei dem Leidener Flaschen benutzt wurden. Erst Sömmering (1755—1830) bediente sich des galvanischen Stromes bei seinem Telegraphen folgender Einrichtung (1809): 27 Leitungsdrähte verbinden die beiden Stationen und münden am Empfangsapparat in einem mit angesäuertem Wasser gefüllten Glastroge. Verband man am Aufgabeort zwei der Drähte, von denen jeder einem Buchstaben entspricht, mit den Polen einer Voltaschen Säule, so stiegen im Empfangsapparat an den entsprechenden vergoldeten Drahtenden Gasblasen auf. Da auf diese Weise stets zwei Buchstaben gleichzeitig telegraphiert werden konnten, sollte derjenige vorangehen, bei dem die stärkere Entwicklung von Gas (Wasserstoff) erfolgte.

Statt der unbequemen Wasserzersetzung schlug Ampère 1820 die Ablenkung der Magnetnadel zum Telegraphieren vor. Es sollten so viel Leitungsdrähte und Magnetnadeln als Buchstaben benutzt werden. Dem Instrumente Sömmerings gegenüber bedeutete dieser Vorschlag keine wesentliche Verbesserung, immerhin gab er den Grundgedanken für all jene Telegraphensysteme, die sich der ablenkbaren Magnetnadel bedienen. Die erste derartige telegraphische Anlage war die obenerwähnte von Gauß und Weber zwischen der Sternwarte und dem physikalischen Institut der Universität Göttingen (1833). Bei ihrem Telegraphen wurde die Nadel in einem Magnetometer durch induzierte oder galvanische Ströme unter Benutzung eines Stromwenders abgelenkt. Indem man die Ausschläge nach rechts und links zu vier, drei oder zwei kombinierte oder allein nahm, erhielt man 30 verschiedene Zeichen für Zahlen und Buchstaben. Die Nachteile der

Digitized by Google

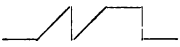
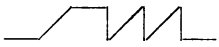
bis jetzt besprochenen Telegraphen bestanden darin, daß die Zeichen nicht selbsttätig notiert werden konnten. Dies erreichten erst Steinheil und Morse.

Karl August Steinheil (1801—70) beschäftigte sich auf den Vorschlag von Gauß und Weber, denen es an der Zeit dazu fehlte, mit der Vervollkommnung des Telegraphen (1837). Durch zwei ablenkbare Magnetnadeln, die am Ende kleine Zeichenstifte hatten, konnten auf einem bewegten Papierstreifen die einzelnen Zeichen aufgeschrieben werden, die aus Punkten in zwei Reihen angeordnet bestanden, z. B.

$$a = \begin{array}{ccc} & \cdot & \\ \cdot & & \cdot \end{array} \qquad b = \begin{array}{ccc} & \cdot & \cdot \\ \cdot & & \cdot \end{array} \qquad c, k = \begin{array}{ccc} & \cdot & \\ \cdot & & \cdot \end{array} \qquad d = \begin{array}{ccc} & \cdot & \\ \cdot & & \cdot \end{array}$$

Steinheil erprobte seinen Telegraphen an drei Stationen, dem physikalischen Kabinett der Akademie zu München, der Sternwarte zu Bogenhausen und seinem Wohnhause zu München. Als er 1838 die Schienen der Bahnlinie Nürnberg—Fürth als Leitung zu benutzen versuchte, bemerkte er, daß der Strom oft von einer Schiene durch die Erde zur andern überging. Dadurch veranlaßt, führte er die Erdplatten und die sog. Erdleitung ein.

Bei dem Apparate des amerikanischen Malers Morse (1791—1872) 1837 zog ein Schreibstift auf einem bewegten Papierstreifen eine gerade Linie. Bei Stromschluß wurde dieser Stift durch einen erregten Elektromagneten nach der Seite abgelenkt. War der Strom kürzer oder länger geschlossen, so entstand auf dem Papierstreifen eine Spitze oder eine kurze Gerade. Aus diesen beiden Elementarzeichen setzt sich das ganze Alphabet zusammen, von dem wir hier zwei Buchstaben angeben:

 $= A$;  $= D$.

Morse hat diesen Apparat, weil zu unpraktisch, bald umgestaltet; die Form, die die meisten unserer Physikbücher anzugeben pflegen, stammt aus dem Jahre 1840.

Im Jahre 1835 führte der russische Staatsrat Pawel Lwowitsch Schilling von Canstadt (1786—1857) seinen Nadeltelegraphen auf der Naturforscherversammlung zu Bonn vor. Es wird behauptet, er habe ihn schon 1832, also vor Gauß und Weber erfunden, doch ist dies noch nicht sicher festgestellt. Sein Instrument diente den Fünfnadeltelegraphen

Digitized by Google

von Wheatstone und Cooke als Vorlage. Beide haben auch einen Signaltelegraphen ersonnen, den Robert Stephenson Eisenbahnzwecken dienlich machte. Wheatstone ersann 1839 noch einen 1841 verbesserten Zeigertelegraphen, der sich gelegentlich in älteren physikalischen Sammlungen vorfindet. Der 1845 von Wheatstone und Cooke angegebene Telegraph mit einem Zeiger ist noch heute in England gebräuchlich.

Im Jahre 1846 konstruierte Werner von Siemens (1816—92) einen Zeigertelegraphen mit Selbstunterbrecher, bei dem als Elektrizitätsquelle ein Zylinderinduktor fungiert. Man hat diesen Apparat besonders zu Eisenbahnzwecken, für Feuermelder usw. gewählt.

Mit der Ausgestaltung des Fernschreibers trat man auch an das Problem des Kopiertelegraphen heran. Bain (1818—77) versuchte 1842 einen solchen, ebenso Bakewell und 1853 Gintl (1804—83). Bekannter ist der Pantelegraph von Caselli (1815—91) aus dem Jahre 1855 geworden. Neuerdings (1902 ff.) liegen einschlägige Versuche von Dr. Artur Korn in München vor. Mit der Konstruktion von Apparaten, die das Telegramm gleich drucken, befaßte man sich verhältnismäßig früh, z. B. 1837 Vail, 1841 Wheatstone, 1847 Morse. Brauchbar ist aber erst der sehr kompendiöse Typendrucktelegraph (1855) von Hughes (1831—1900) geworden. Er druckt etwa 150 Buchstaben (25 Worte) in einer Minute, während der Morseapparat in der gleichen Zeit nur 100 Buchstaben (16 Worte) schreibt. Ohne auf die weiteren Versuche zur Erhöhung der Telegraphiergeschwindigkeit einzugehen, nennen wir hier nur noch den Schnelltelegraphen von Pollák und Virág (1899 ff.), der im Durchschnitt 50000, ja sogar 100000 Wörter in einer Stunde befördern kann und sie am Empfangsort in lateinischer Buchstabenschrift wiedergibt. Vielleicht gelingt es dereinst unter Benutzung der Pupinspulen (1899), diesen Apparat auch in die Dienste der transmarinen Telegraphie zu stellen. Bis jetzt ist man hierfür immer noch auf den Siphon-Recorder (Heberschreiber) von William Thomson angewiesen, bei dem das Telegramm in Wellenschrift notiert wird.

Während bei dem Telegraphen von Gauß und Weber der nackte Kupferdraht über Stangen und Dächer geleitet wurde, benutzte man seit 1852 den von Werner Siemens 1848 angegebenen Glockenisolator zur Drahtbefestigung, der dann

Digitized by Google

Ende der fünfziger Jahre durch den Doppelglockenisolator des damaligen Chefs der preußischen Telegraphie von Chauvin verdrängt wurde. Im Jahre 1837 hatte schon Wheatstone den Wunsch, England und Frankreich submarin zu verbinden, und 1843 machte Morse den gleichen Vorschlag für England und Amerika. Doch kannte man kein passendes Isolationsmaterial. Als die aus dem eingetrockneten Milchsaft der Isonandra gutta hergestellte Guttapercha bekannt wurde, und Siemens 1848 bei Sprengung von Seeminen im Hafen zu Kiel bei damit umhüllten Kabeln guten Erfolg hatte, nahm man das Problem der Unterseetelegraphie wieder auf. Das erste Kabel wurde zwischen England und Frankreich nach einem Mißerfolg am 25. September 1851 durch J. W. Brett gelegt, und ist heute noch in Betrieb. Der zähen Energie des Amerikaners Cyrus Field (1819—92) verdankt man das erste transatlantische Kabel, das man am 6. August 1857 zu legen begann. Da der Versuch mißlang, versuchte man es 1858 nochmals. Am 5. August 1858 waren Alte und Neue Welt verbunden. Noch im gleichen Monat fing das Kabel an zu versagen, und bereits am 1. September war es völlig unbrauchbar. Mit der Legung des dritten Kabels begann man am 22. Juli 1865. Am 2. August riß es und versank. Nach 15 Stunden hatte man es wieder erfaßt, da riß es nochmals und verschwand in der Tiefe. Am 7. Juli 1866 begann man mit der Verlegung eines vierten Kabels und kam damit am 27. Juli gut zu Ende, so daß man ermutigt nun nochmals nach dem Kabel von 1865 suchte, was auch von Erfolg begünstigt war. Am 8. September 1866 war auch diese zweite andauernd betriebsfähige Verbindung zwischen Europa und Amerika vollendet. Die Zahl der Kabel nahm rasch zu. Im Jahre 1902 betrug die Länge aller submarinen Kabel 326 000 km. Davon befanden sich etwa 60 Prozent in britischen Händen.

Auch der Gedanke an einen Fernsprecher ist alt. Bei Hooke (1667) findet sich bereits eine Idee, die von Weinhold (g. 1841) zu seinem Fadentelephon ausgestaltet worden ist (1870). Der erste, der daranging, die Elektrizität zur Übermittlung der Sprache nutzbar zu machen, war der Lehrer Philipp Reis (1834—74), veranlaßt durch das Studium des Gehörmechanismus. 1860 erfand er seinen Apparat, bei dem durch Öffnen und Schließen eines Stromes in einer Draht-

Digitized by Google

spule ein eingesteckter Eisenstab Longitudinaltöne gab. Diese Erscheinung war 1844 von Marrian entdeckt worden, nachdem 1838 Page (1812—68) auf folgende Weise Töne durch Magnetisierung hervorgerufen hatte. Er ließ nämlich durch eine Drahtspirale zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten einen Strom fließen und hörte nun bei jedem Öffnen und Schließen einen Ton, den Schwingungen der Magnetschenkel entstehen ließen.

Reis verbesserte zwar sein Telephon — der Name stammt von Wheatstone, der einen akustischen Apparat so nannte — mehrfach; er hat insgesamt zehn Geber und vier Empfänger konstruiert. Er fand aber nirgends Unterstützung, ja, seine wissenschaftliche Abhandlung über das Telephon wurde sogar von der Redaktion der Poggendorffschen Annalen zurückgewiesen. Kurz vor seinem Tode, der ihn aus ärmlichen Verhältnissen erlöste, sagte er zu einem Bekannten: „Ich habe der Welt eine große Erfindung geschenkt; anderen muß ich überlassen, sie weiterzuführen". Der Ruhm einer brauchbaren Konstruktion des Fernsprechers blieb, dank der mangelnden Unterstützung von Reis in Deutschland, einem Amerikaner vorbehalten. Im Jahre 1876 führte nämlich der Taubstummenlehrer Graham Bell (g. 1847) aus Boston auf der Weltausstellung zu Philadelphia sein Magnetinduktionstelephon vor, das in den meisten unserer Physikbücher beschrieben ist. Die Elektrotechnik hat in der nächsten Zeit manche Verbesserung daran geschaffen. Man benutzt es heute eigentlich nur noch als „Hörer", während man als „Sprecher" das Mikrophon gebraucht, bei dem Stromschwankungen durch Widerstandsänderungen an beweglichen Kohlestückchen erzeugt werden. Gewöhnlich schreibt man dies Instrument dem vorhin genannten Hughes zu, der es am 17. Mai 1878 angab, während Dr. Robert Lüdtge in Berlin schon am 12. Januar 1878 sein deutsches Patent dafür erhalten hatte. Die Ausgestaltung des Telephons durch die Postverwaltung gehört nicht hierher; es sei noch erwähnt, daß die erste Fernsprechleitung 1877 zu Berlin angelegt worden ist.

Im Jahre 1873 benutzte der Elektriker Willoughby Smith das Metall Selen zur Prüfung von submarinen Kabeln. Dabei beobachtete sein Assistent May, daß sich der Widerstand des Selens bei Belichtung ganz bedeutend verringert.

Digitized by Google

Bell benutzte mit seinem Freunde Tainter die neuentdeckte Erscheinung bei seinem „Photophon". Man spricht dabei gegen ein dünnes Spiegelchen, das Licht nach der Empfangsstation reflektiert. Dort nimmt eine Selenzelle die Lichtschwankungen auf, setzt sie in Änderungen des Widerstands und damit der Stromstärke um und übermittelt diese einem ans Ohr gehaltenen Belltelephon.

Diese „drahtlose Telephonie" erhielt einen zweckmäßigeren Absendeapparat in der „sprechenden Bogenlampe" 1897 von Simon, deren Einrichtung bekannt ist. Verbessert wurde der Empfänger durch Selenzellen, die Ernst Ruhmer in Berlin neuerdings äußerst lichtempfindlich herzustellen gelehrt hat. Ihm gelang es auch, die Lichtschwankungen der sprechenden Bogenlampe auf einen Kinematographenfilm zu photographieren. Damit kann man dann wieder Oszillationen des Widerstands einer Selenzelle hervorbringen, was gestattet, die „sprechende Photographie" mit einem Telephon abzuhören. Neben diesem „Photographon" Ruhmers erwähnen wir noch das Telegraphon (Telephonograph) des Dänen Waldemar Poulson (1900 f.). Bei dieser Einrichtung werden unsichtbare magnetische Zeichen auf einem Stahlband gesammelt, indem ein Elektromagnet durch Stromstöße eines Telephons in einem vorbeigleitenden Stahlbande stärker oder schwächer magnetisierte Stellen hervorbringt. Diese erzeugen dann umgekehrt wieder in einem vorbeigleitenden Elektromagneten Stromstöße, die durch ein Telephon dem Ohre übermittelt werden. Der Däne P. O. Pedersen wies nach, daß ein und dasselbe Stahlband sogar mehrere Gespräche aufzunehmen vermag. Soll der Apparat zur Empfangnahme eines neuen Gesprächs usw. hergerichtet werden, so genügt es, mit einem Elektromagneten die auf dem Stahlband sitzende „Magnetschrift auszulöschen". Das Telegraphon soll besonders dazu dienen, Telephongespräche, also z. B. Geschäftsaufträge anzunehmen, wenn der Empfänger gerade abwesend ist.

Die Entdeckung Faradays, daß man magnetische Energie durch Bewegung in Elektrizität umsetzen kann, hatte die alsbaldige Konstruktion von stromerzeugenden Maschinen zur Folge. Als erste kann man eigentlich jenen Apparat Faradays ansehen, bei dem eine Kupfer-

scheibe zwischen den Polen eines Magneten rotierte. Eine kräftigere Wirkung erzielte man mit den nahezu übereinstimmend gebauten (Wechselstrom-) Maschinen von Dal Negro (1768—1839) und Pixii aus dem Jahre 1832. Mannigfache Verbesserungen gaben Ritchie († 1837) und Saxton im Jahre 1833, sowie Clarke (1836), E. Stöhrer (1813—90) 1844 und Petrina (1799—1855) 1845. Clarke, Poggendorff und Stöhrer gaben passende Kommutatoren, so daß man auch gleichgerichtete Ströme gewinnen konnte. Als besonders kräftige magnetelektrische Maschinen galten die der französischen Gesellschaft „L'alliance", deren Leistungen aber zur Größe usw. in gar keinem Verhältnis standen; sie blieben aber doch bis etwa 1878 im Gebrauch. Werner Siemens baute 1857 eine magnetelektrische Maschine mit einem Zylinderinduktor. Professor Wilde in Manchester benutzte diese Maschine als „Generator" für einen Elektromagneten, mittels dessen er dann durch Magnetinduktion Strom erzeugte (1866). Siemens wies nach, daß eine solche Erregermaschine überhaupt entbehrt werden kann, und sprach (1867) sein 1866 gefundenes berühmtes „dynamoelektrisches Prinzip" aus. Er schreibt darüber an seinen Bruder Wilhelm: „Die Effekte müssen bei richtiger Konstruktion kolossal werden. Die Sache ist sehr ausbildungsfähig und kann eine neue Ära des Elektromagnetismus anbahnen."

14 Tage nach Siemens publizierte auch Wheatstone das dynamoelektrische Prinzip. Die Priorität gebührt also jedenfalls unserem Landsmanne. Die erste Maschine, bei der der neue Grundsatz zur Verwendung kam, war 1867 auf der Weltausstellung zu Paris durch den Engländer Ladd ausgestellt. Im Jahre 1860 hatte der junge Pacinotti († 1841) den sog. Ringinduktor erfunden, den dann 1869

Digitized by Google

Z. Th. Gramme (1826—1901) für die erste, kontinuierlichen Gleichstrom erzeugende, dynamoelektrische Maschine benutzte. F. v. Hefner-Alteneck (geb. 1845) ersetzte den Ring 1873 durch seinen Trommelanker. Die erste eingehende Theorie für die bei der Dynamomaschine auftretenden Verhältnisse gab O. Fröhlich 1886; ihre experimentelle Prüfung hatte er in der Fabrik der Firma Siemens & Halske (gegründet 12. X. 1847) vorgenommen.

Von den für die Technik hochwichtigen Mehrphasenströmen (Tesla 1887) gedenken wir besonders des dreiphasigen oder Drehstroms — wie ihn v. Dolivo-Dobrowolsky (geb. 1861) nicht sehr glücklich bezeichnete —, der sich vorzüglich zum Betrieb von Motoren eignet. An das Problem, durch elektrische Kraft eine Bewegung zu erzeugen, war schon 1830 Dal Negro (1768—1839) herangetreten. Verwertbar war jedoch erst der von M. H. Jacobi (1801—74) konstruierte Motor von $^3/_4$ Pferdestärke, bei dem vor einem System von festen Elektromagneten ein System beweglicher rotierte, die durch einen Kommutator ständig die Pole wechselten. 1838 konnte Jacobi mit dieser Maschine unter Verwendung von 320 Kupfer-Zinkelementen ein mit zwölf Personen besetztes Boot auf der Newa bewegen. Der noch zu erwähnende J. P. Wagner (1799—1879) in Frankfurt versuchte sich an einer elektrischen Lokomotive und erhielt dafür am 22. April 1841 durch den Bundestag 100 000 Gulden zugesichert, die aber am 13. Juni 1844 wegen Nichterfüllung gewisser Bedingungen widerrufen wurden. An solche Probleme konnte man erst mit Erfolg herantreten, als man erkannt hatte, daß eine dynamoelektrische Maschine beim Einleiten von Strom als Motor läuft. Auf der Gewerbeausstellung zu Berlin 1879 führten Siemens & Halske die erste elektrische Eisenbahn vor,

Digitized by Google

bei der die Stromzuleitung durch eine Mittelschiene, die Ableitung durch die eigentlichen Schienen erfolgte. Bei der Bahn nach Lichterfelde (1881) benutzte man die beiden Schienen zur Hin- und Rückleitung. Die elektrischen Bahnen haben zweifellos eine vielversprechende Zukunft, erreichte man doch am 6. X. 1903 auf der Militärbahn Marienfelde-Zossen bei Berlin bei einer der zahlreichen Versuchsfahrten eine stündliche Geschwindigkeit von 200 Kilometern.

Da sich die elektrische Energie durch Drahtleitung in die Ferne führen und dort zu Motorbetrieb usw. verwenden läßt, hat die Elektrotechnik an einer solchen elektrischen Kraftübertragung ein hohes Interesse. Die erste derartige (Gleichstrom-) Anlage erfolgte mittels eines Telegraphendrahtes durch Marcel Deprez (geb. 1843) auf der 2. internationalen Elektrizitätsausstellung zu München (1882) auf eine Entfernung von 60 km mit einem Wirkungsgrad von 25 %. Deprez versuchte 1886 nochmals das Problem mit Gleichstrom hoher Spannung, du Bois-Reymond 1889 mit Wechselströmen. Die bekannteste Kraftübertragung erfolgte unter von Dolivo-Dobrowolsky von Lauffen am Neckar nach Frankfurt a. M. zur elektrischen Ausstellung 1891 unter Verwendung von Drehstrom. Man erzielte ein Güteverhältnis von 72 %. Natürlich wurde der Strom in Lauffen hinauf- und in Frankfurt herabtransformiert. Der Ingenieur Gaulard in England baute 1880 den ersten Transformator für die Technik, den dann 1882 der Ingenieur Blathy zu Budapest weiter vervollkommnete.

Bekanntlich wirken Ströme hoher Spannung bei Berührung lähmend und sogar tötend auf den menschlichen Körper. In Amerika macht man davon einen widerwärtigen Gebrauch bei den elektrischen Hinrichtungen, deren

Digitized by Google

erste seit der Einführung durch die Lex Gerry (New-York 1887) am 6. Aug. 1890 stattfand. Im Jahre 1903 hat Professor N. Artemieff in Kiew eine Schutzkleidung aus Metallgaze angegeben, mit der Ströme höchster Spannung gefahrlos berührt werden können, was für elektrotechnische Arbeiten von hoher Bedeutung ist. Besonderes Interesse gewährt der Umstand, daß die „Hochfrequenzströme", die zuerst Nicola Tesla (geb. 1856) erzeugte, und die wir zur Demonstration leicht mit dem Instrumentarium von Elster (geb. 1854), Geitel (geb. 1855) und Himstedt herstellen, physiologisch so gut wie unwirksam sind.

Zum Aufspeichern elektrischer Energie leisten der Elektrotechnik die sekundären Elemente oder Akkumulatoren, deren Idee auf den Militärarzt W. J. Sinsteden (1854) zurückgeht, sehr gute Dienste. Gaston Planté (1834—89) hat dann 1859 solche Elektrizitätssammler zuerst konstruiert, Camille Faure sie (1882) durch den Mennigüberzug der Bleiplatten wesentlich vervollkommnet.

Wir schließen gleich hier ein weiteres wichtiges Verwendungsgebiet der Elektrolyse an, die sog. Galvanoplastik. Daniell hatte beobachtet, daß die Kupferplatte seines Elements bei Gebrauch dicker wird, daß sich neues Metall als zusammenhängende Masse absetzt und alle Erhöhungen und Vertiefungen der Platte, z. B. Feilstriche, (allerdings negativ) wiedergibt. Im September 1836 hatte de la Rive dasselbe bemerkt, und Jacobi machte im Februar 1837 darauf aufmerksam, daß man damit Gegenstände nachbilden kann. Die Anweisung dazu legte er 1840 in einem Werke „Die Galvanoplastik" nieder. Böttger (1806—81) in Frankfurt a. M. vervielfältigte danach 1841 Kupferstiche. Wright gewann zuerst (1840) Gold und Silber aus den Lösungen ihrer Doppelcyanide, Smee (1842) Antimon, Blei, Eisen, Platin und Zink aus den Lösungen ihrer Salze. Dies ermöglicht, einen Gegenstand entweder in einem Metall zu vervielfältigen oder mit einem Metallüberzug zu versehen. In den Werkstätten für Galvanoplastik und Galvanostegie [z. B. von Christofle seit 1842] macht man von diesen Verfahren ausgiebigen Gebrauch

für kunstgewerbliche Zwecke. Scheidet man ganz dünne Metallschichten auf elektrolytischem Wege unter geeigneten Versuchsbedingungen ab, so bilden sich die Farbringe von Nobili (1826), mit deren Erforschung sich 1829 Fechner (1801—87) und 1837 Faraday befaßten.

Auf die früher schon erwähnten Wärmewirkungen des elektrischen Stromes müssen wir nochmals zurückkommen, schon mit Rücksicht auf die elektrische Beleuchtung, die erst durch die Dynamomaschine und die dadurch verbilligten Stromerzeugungskosten ihre Bedeutung erlangt hat. Joule gab im Jahre 1841 sein wichtiges Gesetz über Stromwärme und Stromeffekt, womit sich in der Folge 1844 Lenz, 1848 Poggendorff, 1849 J. Müller, 1859 Zöllner und 1874 A. K. von Waltenhofen beschäftigten. Eine äußerst praktische Verwendung der Glüherscheinung an dünnen Drähten gab der Mediziner A. Th. Middeldorpf, indem er die operative Heilkunde 1854 durch die Galvanokaustik bereicherte. Schon vorher hatte sich M. Heider (1845) vorübergehend auf den Vorschlag Steinheils (1843) hin des durch Elektrizität glühenden Drahtes zur Zerstörung von Zahngeschwüren bedient.

Im Jahre 1838 schlug Jobard eine Lichtquelle vor, die aus einer galvanisch glühenden Kohle im Vakuum bestehen sollte. W. R. Grove (1840) und F. Moleyns (1841) empfahlen zum gleichen Zweck eine Platindrahtspirale, doch besaßen die 26 Lampen, die J. W. Starr 1845 zu London vorführte, Kohle. M. G. Farmer in Newport hatte angeblich schon im Juli 1859 eine Glühlampenanlage in seinem Hause. Von einer rationellen Ausnutzung konnte erst die Rede sein, als W. E. Sawyer in New York im Sommer 1877 Patente auf die Herstellung der Glühkörper aus Holz oder Papier erhalten und die sog. Parallelschaltung eingeführt hatte. Th. A. Edison richtete dann 1879 auf dem Dampfer „Columbia" eine Anlage von 115 Glühlampen ein, bei denen eine verkohlte Bambusfaser den Glühkörper bildete. Ein Haus in Berlin soll (April 1882) die erste Glühlampenanlage Deutschlands besessen haben. Seit man in den Dynamomaschinen über brauchbare Starkstromquellen verfügte und die Lampenfabrikation brauchbare Herstellungsverfahren ermittelt hatte, konnte sich die Beleuchtung mit Glühlichtern mehr und mehr einbürgern. In der neuesten Zeit arbeitet man darauf hin, bei tunlichst kleinem Stromverbrauch eine möglichst große Lichtstärke zu

Digitized by Google

erzielen. Ganz besonders erwähnen wir hier nur die Lampe von W. Nernst und das Osmiumglühlicht von Karl Auer von Welsbach, beide vom Jahre 1898.

Um den Zündgefahren bei Kurzschluß einer elektrischen Kraftanlage vorzubeugen, hat Edison 1878 die sog. Bleisicherung angegeben, die normalen Strom weiterleitet, durch „Überstrom" jedoch durchschmilzt und ihn so selbsttätig unterbricht.

Mit der billigeren und bequemeren Stromgewinnung suchte man auch das elektrische Bogenlicht passend zu verwerten. An Stelle der Holzkohlenstäbe Davys führte Foucault (1844) Kohlenstifte ein, die nach Bunsen aus Retortenkohle, Ruß und Steinkohlenteer gepreßt werden. Wo man das Bogenlicht nur ganz vorübergehend benutzte, suchte man den stets gleichen Abstand der Kohlenstifte durch einen Handregulator zu erzielen. Bei Dauerbetrieb ist dies natürlich nicht angängig. Man konstruierte daher eine große Reihe passender Mechanismen. Foucault und Duboscq erzielten das Auseinanderziehen und Nachschieben der Stifte durch ein Uhrwerk (1848). Der russische Elektrotechniker P. Jablochkow (1847—94) gab 1878 die seinen Namen tragende „Kerze", welche jedoch mit Wechselstrom gespeist werden muß. Im folgenden Jahre (1879) ersann F. von Hefner-Alteneck (g. 1845) seine allbekannte Differentiallampe und schuf damit während der Gewerbeausstellung zu Berlin die erste Bogenlampenanlage in der Passage. Zuletzt gedenken wir der Lampe der Herren Piette und Krizik (1880), deren man sich vielfach für Projektionsapparate usw. bedient. Dort hat sich überhaupt das elektrische Licht schnell an Stelle des Kalklichts (1826) von dem Ingenieur Th. Drummond (1797 bis 1840) Eingang verschafft.

Rüstet man die Bogenlampe mit einem Parabolspiegel aus [Schuckert & Cie. 1886], so erhält man einen äußerst zweckdienlichen Scheinwerfer von beträchtlich erhöhter Lichtstärke. So befand sich z. B. auf der (11.) Weltausstellung zu Chicago (1893) ein Scheinwerfer von Schuckert & Cie., der bei 60 Volt und 180 Ampère durch einen Spiegel die Lichtstärke von 47 000 Kerzen auf 194 000 000 brachte, so daß man das Licht noch in einer Entfernung von 128 km wahrnehmen konnte.

Der Bergwerksingenieur de Bernardos in Petersburg

Digitized by Google

benutzte (1887) erstmalig den Lichtbogen zum Löten, indem er eines der Metallstücke und einen Kohlenstift zur Stromführung verwendete und letzteren wie einen Lötkolben gebrauchte. Besser war das von dem Amerikaner Coffin gegebene Verfahren, bei dem der durch einen genäherten Magneten abgelenkte Lichtbogen wie eine Lötrohrflamme wirkt. Elihu Thomson ersann 1888 die elektrische Schweißung, wobei der Strom durch die Berührungsfläche der beiden fest aneinandergedrückten Metallstücke fließt.

Im Jahre 1886 verstanden es die Gebrüder Eugène und Alfred Cowles, die Elektrizität für ein besonderes metallurgisches Verfahren in Anwendung zu bringen, das z. B. eine äußerst billige Darstellung des Aluminiums ermöglicht. Henri Moissan (g. 1852) konnte 1884 mit seinem elektrischen Ofen durch Schmelzen von Eisen mit gepulverter Holzkohle kleine künstliche Dimanten erzeugen. Im Jahre 1892 glückte ihm die Herstellung von Calciumkarbid aus gepulvertem Kalk und Koks im elektrischen Ofen, und ermöglichte so Willson (1892) die Schaffung einer ganzen Azetylenindustrie.

Nachdem wir die magnetelektrischen Maschinen und ihre hauptsächlichsten Verwendungsgebiete besprochen haben, bleibt uns noch dieselbe Aufgabe für die elektromagnetischen Induktionsapparate zu erledigen. Im Jahre 1836 beschäftigte sich Masson (1806—60) damit, starke Induktionsströme durch rasches Öffnen und Schließen eines Primärstroms hervorzurufen. Er konnte jedoch nur physiologische Wirkungen damit erreichen. Ausschließlich für solche war der von E. du Bois-Reymond (1818—96) konstruierte Schlittenapparat (1841) bestimmt, der als Unterbrecher einen „Wagnerschen Hammer" (1837) hatte. Häufig ist diese Vorrichtung nach dem Arzte Neeff (1782—1849) in Frankfurt genannt, jedoch mit Unrecht, da der auf Seite 111 genannte J. P. Wagner sie ersonnen hat. Sie bildet einen wesentlichen Bestandteil der elektrischen Klingel, deren Erfinder leider unbekannt ist.

War es auch 1848 Masson und Breguet (1804—83) gelungen, im Vakuum Lichteffekte durch Induktionsströme zu erzielen, so wurde die Funkenbildung in freier Luft erst durch die berühmten Apparate des 1803 in Hannover geborenen Heinrich Daniel Rühmkorff (1851) ermög-

Digitized by Google

licht. Da er sich in Frankreich aufhielt († 1877 zu Paris), ist die französische Benennung Rumkorff verständlich. Doch darf man nicht, wie das gang und gäbe ist, dieses Wort als deutsches lesen. Seine Apparate gaben bald Funken von über 40 cm Länge, die „selbst den Unerschrockensten zittern machen konnten". Nach einem Vorschlage von Poggendorff hat E. Stöhrer (1813—90) diese Apparate etwas verändert. Eine wichtige Verbesserung bedeutete die Einführung des Kondensators von Fizeau (1853) zur Schwächung des Öffnungsfunkens. Foucault brachte (1856) auf Poggendorffs Rat (1855) hin eine schlecht leitende Flüssigkeit an die Unterbrechungsstelle des Wagnerschen Hammers. Wir erwähnen noch den Unterbrecher von M. Deprez (1881) und den „elektrolytischen Interruptor" von A. Wehnelt (1899), sowie die rotierenden Quecksilberunterbrecher, deren erster wohl von Kirn (1884) stammt.

In einer Reihe von Fällen kann man sich heute statt der Induktionsapparate auch der Influenzelektrisiermaschine bedienen, deren erste von G. Belli (1791—1860) im Jahre 1831 konstruiert wurde. Holtz (g. 1836) und Töpler (g. 1836) haben ihre bekannten Maschinen gleichzeitig (1864), aber unabhängig voneinander ersonnen. Auf einem völlig anderen Prinzip beruht die Wasserinfluenzelektrisiermaschine von W. Thomson (1867).

Im Jahre 1860 ließ Masson die Entladung eines Rühmkorffschen Funkeninduktors in der Barometerleere erfolgen. Gassiot (1797—1877) verwendete zum gleichen Zweck evakuierte Glasröhren, wie sie später von dem Glasbläser Heinrich Geißler (1814—79) in vortrefflicher Ausführung verfertigt wurden, so daß Plücker (1801 bis 68) den Vorschlag machte (1858), sie nach diesem zu nennen.

Bevor wir zum Abschlusse unserer Betrachtungen die Entladungserscheinungen in diesen Röhren näher ins

Digitized by Google

Auge fassen, verweilen wir noch bei dem Studium der Funkenentladung. Wheatstone hatte sich 1834 damit beschäftigt, die Dauer derselben zu messen. Aus der Länge eines Funkens in einem rotierenden Spiegel von bekannter Umdrehungsgeschwindigkeit berechnete er sie zu $42 \cdot 10^{-6}$ Sekunden. Dabei erhielt er auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität in Kupferdraht zu 430 000 km in der Sekunde. Der Funke ist jedoch nicht eine einzelne Entladung, sondern eine Summe vieler partieller. Helmholtz (1847) und Thomson (1853) machten darauf aufmerksam und betonten, daß bei einer Batterieentladung ein Oszillieren der Elektrizität eintreten müsse. Feddersen (geb. 1832) konnte dies auch wirklich 1858 nachweisen, indem er das Funkenbild im rotierenden Spiegel photographierte. Maxwell (1831 bis 79) erkannte (1865), daß der Funke der Ausgangspunkt elektrischer Wellen ist, die sich mit der Geschwindigkeit des Lichts allseitig verbreiten, und erweiterte diesen Gedanken in der Folgezeit zu seiner bekannten elektromagnetischen Theorie des Lichts, für welche die sog. kritische Geschwindigkeit eine Hauptstütze bildet. Gibt man nämlich irgend eine elektrische Einheit elektromagnetisch und elektrostatisch gemessen an, so bildet deren Verhältnis eine einfache Potenz einer Größe v, die die Dimension einer Geschwindigkeit $[l \cdot t^{-1}]$ hat. Ihr Wert ist mehrfach ermittelt worden, wohl zuerst von W. Weber und R. Kohlrausch (1856). Aus allen Messungen nach den verschiedenartigsten Methoden durch W. Thomson, Maxwell, Ayrton, J. J. Thomson, Klemenčič, Himstedt usw. ergibt sich eine bedeutende Übereinstimmung von v mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts. Maxwell vertritt daher die Anschauung, der Äther vermöge Licht und Elektrizität zu übermitteln. Die Folgerung, daß die

Digitized by Google

Dielektrizitätskonstante eines Stoffes gleich dem Quadrat des Brechungsexponenten sein muß, fand man besonders für Gase bewahrheitet.

Bestätigten zwar theoretische Betrachtungen in großer Zahl Maxwells Hypothese von elektromagnetischen Ätherschwingungen, so entbehrte sie noch des zwingenden experimentellen Nachweises. Diesen lieferte unser leider viel zu früh verstorbener Landsmann Heinrich Hertz (22. II. 1857—1. I. 1894), damals ordentlicher Professor der Physik an der technischen Hochschule in Karlsruhe. In einem auf der 62. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Heidelberg gehaltenen Vortrage: „Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität" (Heidelberg 1889) stellt er zunächst die Behauptung auf: „Das Licht ist eine elektrische Erscheinung, das Licht an sich, alles Licht, das Licht der Sonne, das der Kerze, das eines Glühwurms. Nehmt aus der Welt die Elektrizität, und das Licht verschwindet; nehmt aus der Welt den lichttragenden Äther, und die elektrischen und magnetischen Kräfte können nicht mehr den Raum überschreiten." Hertz gibt dann im weiteren Verlaufe seine beweiskräftigen Experimente an. Er benutzte Schwingungen, deren Dauer etwa $^1/_{1\,000\,000}$ Sekunde und deren Wellenlänge 33 cm war. Die erzeugten Strahlen elektrischer Kraft ließen sich dann durch eine Metallwand nach dem optischen Gesetze reflektieren, durch gewölbte Spiegel konzentrieren und durch ein 600 kg schweres und 1,5 m hohes Pechprisma von 30° brechendem Winkel brechen. Es gelang Hertz, auch die Polarisationserscheinungen durch Verwendung zweier Zylinderspiegel (Polarisator und Analysator) und eines Kupferdrahtgitters, das sich wie ein Nicolsches Prisma verhielt, hervorzurufen. Indem Hertz die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen ermittelte,

Digitized by Google

erhielt er einen der Lichtgeschwindigkeit sehr nahe kommenden Wert. Besonders J. Klemenčič (geb. 1853) bestätigte dies in sehr sorgfältigen Versuchen. Sarasin (geb. 1843) und L. de la Rive nahmen die Experimente auf, an denen Hertz durch seine Krankheit gehindert war, und bewiesen, daß sich, wie es die Theorie von Maxwell auch verlangte, die elektrische Erregung in der Luft und in Drähten gleich schnell verbreitete.

Zur Objektivierung der elektrischen Wellen bediente sich Hertz des „Resonators", eines zusammengebogenen Drahtstücks, zwischen dessen sehr genäherten Enden ein kleines Fünkchen überspringen konnte. Zur bequemeren Demonstration gab 1892 L. Zehnder die seinen Namen tragende Röhre an. Weitaus am empfindlichsten für solche Zwecke ist der „Radiokonduktor" (1890) von Branly (geb. 1844). Dabei benutzt man die schon 1838 von Munck af Rosenschöld bemerkte Tatsache, daß feines Metallpulver durch elektrische Entladung seine Leitfähigkeit ändert. Wir pflegen Branlys Empfänger heute „Fritter" oder [1892 Lodge: coherer] Kohärer zu nennen. Seine Hauptbedeutung liegt in der Verwendung für die elektrische Telegraphie ohne Drahtleitung.

Mit den Hertzschen Versuchen war eigentlich das Problem der drahtlosen Telegraphie im Prinzip schon gelöst. Als jedoch (1889) ein Ingenieur in München sich an Hertz mit der Frage wandte, ob man wohl jetzt an die schon lange versuchte drahtlose Telegraphie denken könne, antwortete Hertz verneinend. Hughes, Crookes, Lodge usw. glaubten zwar an die Möglichkeit, doch erfolgte die Ausführung erst 1897 durch den Italiener Guglielmo Marconi, der in diesem Jahre bereits über den 14,5 km breiten Bristolkanal seine Telegramme sandte. Man tut jedoch Hertz unrecht, wenn man ausschließlich Marconi

Digitized by Google

zum Erfinder der drahtlosen, oder wie Slaby besser sagt, „Funkentelegraphie“ stempelt. Außer dem Systeme Marconis gibt es noch einige andere von Bedeutung; wir nennen diejenigen von Slaby-Arco und Braun-Siemens, dürfen jedoch auf weitere Angaben verzichten.

Bei der „lichtelektrischen Zeichenübertragung“ (1898) von K. Zickler benutzt man die Beobachtung von Hertz (1887), daß Lichtstrahlen von geringer Wellenlänge, also besonders ultraviolette, elektrische Funkenentladungen auszulösen vermögen. Auf die Tatsache, daß ultraviolettes Licht eine negative Ladung mehr oder weniger schnell „zerstreut“, stützt S. Arrhenius seine photoelektrische Hypothese für die atmosphärische Elektrizität. Auf letztere beziehen sich Arbeiten von Erman 1812, Peltier 1842, Exner 1898, Sohncke, Lenard, Elster und Geitel 1899 ff., sowie Ebert 1901.

Zu all den zahlreichen Bestätigungen der elektromagnetischen Lichttheorie ist als unstreitig bedeutendste nach den Arbeiten von H. Hertz der sog. Zeeman-Effekt hinzugekommen. Man versteht darunter die von dem holländischen Physiker Pieter Zeeman in den letzten Tagen des Jahres 1896 gemachte Entdeckung, daß die Farbe einer Lichtquelle im Magnetfeld verändert wird. Allerdings ist dies nicht mit dem Auge direkt wahrnehmbar, wohl aber mit dem Spektroskop. Es zeigen sich nämlich die D-Linien einer Natriumflamme im Magnetfeld deutlich verbreitert, ja sogar vervielfacht.

Auf die zahlreichen experimentellen und rein theoretischen Forschungen, die sich an die bis jetzt behandelten und noch zu besprechenden Fragen anknüpfen, können wir nicht weiter eingehen. Sie alle wird erst das 20. Jahrhundert, ja vielleicht nicht einmal dieses in ihrer vollen Bedeutung würdigen können. Ein einigermaßen gerechtes Urteil ist am heutigen Tage eigentlich noch nicht möglich, und von einem objektiven Rückblick, wie ihn die geschichtliche Darstellung fordert, kann heute noch keine Rede sein. Wir begnügen uns

Digitized by Google

daher bei unserer Schlußbetrachtung mit den einfachsten Angaben.

In einer Abhandlung (1869) „über die Elektrizitätsleitung der Gase“ machte Hittorf erstmals auf die Kathodenstrahlen (wie Goldstein sie nannte) aufmerksam, die bei einer bestimmten Luftverdünnung auftreten, und beschrieb außerdem die schon vorher bekannte Einwirkung des Magneten auf das Licht in einer Geißlerschen Röhre sehr eingehend. Sehr interessante Ergebnisse konnte W. Crookes (geb. 1832) verzeichnen (1876), als er bei Fortsetzung seiner Studien über das Radiometer die mechanischen, thermischen und optischen Wirkungen der Kathodenstrahlen entdeckte. Er glaubte, einen neuen vierten Aggregatzustand gefunden zu haben, und sprach, einen Ausdruck Faradays (1816) verwertend, von „strahlender Materie“. Der weitere Verfolg dieser Arbeiten führte E. Goldstein zu den „Kanalstrahlen“ (1886).

Da Hertz gefunden hatte, daß dünne Blattmetalle die Kathodenstrahlen hindurchdringen lassen, konnte Lenard (geb. 1862) mit Erfolg darangehen (1892), diese Strahlen durch ein Aluminiumfenster der Röhre in die freie Luft hinaustreten zu lassen und sie dort zu untersuchen. Ende 1895 bemerkte Röntgen (geb. 1845), daß von der Vakuumröhre unsichtbare Strahlen ausgehen, die einen mit Bariumplatincyanür bestrichenen Schirm aufleuchten lassen. Diese X-Strahlen, wie Röntgen sie wegen ihrer unbekannten Natur damals nannte, sind photographisch wirksam, gehen durch Holz, Papier, Muskeln usw., werden dagegen von Metallen, Glas, Knochen usw. mehr oder weniger aufgehalten. Die Möglichkeit, die Knochen des Körpers dadurch im Schattenbilde sichtbar zu machen, bzw. Aufschlüsse über das Innere des lebenden Menschen zu erhalten, hat ein weites Anwendungsgebiet („Radio-

Digitized by Google

skopie") für die Röntgenstrahlen geschaffen und berechtigt zu den schönsten Hoffnungen.

Bei weiterer Verfolgung der Frage, ob eine Fluoreszenzerscheinung stets das Auftreten von Röntgenstrahlen bedingt, fand (1896) Henri Becquerel (geb. 1852), daß Uran und seine Verbindungen (Pechblende) bei längerer Exposition die photographische Platte beeinflussen, selbst wenn undurchsichtige Stoffe dazwischen gelegt sind. Es konnte keinem Zweifel unterliegen, daß man es mit der Emission unsichtbarer (Becquerel-) Strahlen zu tun habe. Bei der Untersuchung der Frage, welchen Substanzen besonders diese „Aktivität" zukomme, fand das pariserisch-polnische Ehepaar Philippe und S. Ladowska Curie (1898), daß dies besonders zwei dem Wismut und dem Barium ähnliche Stoffe seien. Ersteres verlor seine Strahlungsfähigkeit bald und erwies sich als radioaktives Wismut. In dem anderen, dem „Radium", haben wir einen Körper, der zurzeit im Vordergrunde des physikalischen Interesses steht und wohl noch lange stehen wird.

Viel, vielleicht schon zuviel Spekulation knüpft sich an das geheimnisvolle Wunder der Radioaktivität. Dem forschenden Menschengeiste haben sich neue, nie geahnte Perspektiven eröffnet, die der physikalischen Wissenschaft auf lange Zeit den Weg vorgezeichnet haben. Es scheint, daß vor allem die Radiumforschung dazu berufen ist, das alte, aber noch heute zutreffende Wort von du Bois-Reymond seiner Wahrheit zu berauben: „Vor der Frage, was der Stoff sei, stehen wir noch so ratlos, wie die alten ionischen Philosophen."

Digitized by Google

Namenregister.

Abbe 80.
Accademia del Cimento 49.
Adanson 45.
Airy 47.
Amici 76, 80.
Amontons 9, 12, 20, 22.
Ampère 89 ff., 91, 94, 104.
Andrée 53.
Andrews 64.
Ångström 74.
Anschütz 80.
Aepinus 31, 38, 39.
Appun 58.
Arago 56, 72, 74, 79, 89, 94.
Archer 78.
Arco 121.
Arlande, d' 12.
Armstrong 100.
Arrhenius 98, 121.
Arsonval, d' 103.
Artemieff 113.
Arzberger 52.
Ash 84.
Atwood 9.
Auer v. Welsbach 115.
Avogadro 65.
Ayrton 118.

Babinet 73.
Baco v. Verulam 20.
Bain 106.
Bakewell 106.
Barber 70.
Barlow 91.
Barnett 71.
Barrett 59.
Beccaria 42.
Becquerel, A. C. 101.
— E. 76.
— H. 123.
Beek v. 56.
Beetz 59, 94
Behrens 85.
Bell 108.
Belli 117.
Bennett 37, 43.
Benz 71.
Benzenberg 47.
Bérard 62.
Berkel v. 45.
Berliner 60.
Bernardos, de 115.
Bernoulli 10, 30.
Berson 54.
Bertholon 42.
Berzelius 85.
Bessel 48.
Bétancourt, de 104.
Bevis 36, 42.
Bianconi 15.
Biot 53, 88.
Bixio 53.
Black 11, 23.
Blathy 112.
Blenkinsop 70.
Böckmann 81.
Bohadsch 42.
Bohnenberger 48, 85.
Bose 34, 35.
Böttger 113.
Bouguer 7, 8, 27.
Bourdon 51.
Boyle 26.
Boys 47.
Bradley 28.
Branly 120.
Braun 103, 121.
Breguet 64, 116.
Brett 107.
Brewster 72, 76, 79.
Brown 70.
Brücke 79.
Brugmans 101.
Buchanan 69.
Bunsen 51, 52, 75, 79, 98.
Burdin 10.
Buys-Ballot 76.
Cagniard-Latour 57.
Cailletet 64.
Canton 30, 34, 37, 38, 40, 49.
Carlisle 84.
Carnot 65, 68 f.
Caselli 106.
Cassini 7.
Cauchy 73.
Cavallo 11, 37.
Cavendish, C. 22.
— H. 8 f., 11, 44.
Cawley 17 f.
Celsius 22.
Chappe 81.
Charles 77.
Chauvin, v. 107.
Chladni 14 f., 57
Christiansen 73.
Christofle 113.
Clairaut 8.
Clamond 92.
Clark 53, 99.
Clarke 110.
Clausius 49, 68, 102.
Clegg 52.
Clément 65.
Coffin 116.
Colding 68.
Colladon 49, 57.
Cooke 106.
Cooper 98.
Cornu 74.
Corti 58.
Coulomb 9, 31, 38, 43 f., 87.
Cowles 116
Coxwell 53.
Crookes 62, 75, 78, 120, 122.
Cugnot 19.
Cumming 90.
Cunaeus 36.
Cunningham 30

Digitized by Google

Curie, Ehepaar 123.
Cuthbertson 34.
Czapski 99.

Daguerre 77.
Daimler 71.
Dal Negro 110, 111.
Dalton 51, 63.
Daniell 98, 113.
Daumius 46.
Davy 52, 77, 78, 85, 86, 90, 91, 115.
Degen 50.
— J. 55.
Deimann 45.
Delambre 8.
Deluc 12, 22, 25.
Deprez 103, 111, 117.
Desaguliers 33, 40.
Desormes 65.
Dewar 64.
Dietrich 30.
Diwisch 41.
Dolivo-Dobrowolsky, v. 111 f.
Dollond 26.
Doppler 76.
Dorn 103.
Drummond 115.
Dubois 103.
du Bois-Reymond 112, 116, 123.
Duboscq 115.
Dufay 33, 37, 38.
Duhamel 59.
Dulong 13, 63, 65.
Dunlop 71.
Dutrochet 49.

Ebert 121.
Edgeworth 19.
Edison 60, 80, 114.
Edlund 102
Ellicot 38.
Elster 113, 121.
Ericsson 70.
Erman 90, 121.
Euler 26, 28 f., 71.
Evans 19, 69.
Exner 103, 121.

Fahrenheit 13, 20 f.
Faraday 64, 90 f., 94—101, 109, 114.
Farmer 114.
Faure 113.
Fechner 85, 91, 94, 114.
Feddersen 118.
Felici 96.
Fessel 48, 59.
Field 107.
Fitch 19.
Fizeau 74, 76, 117.
Flammarion 53.
Fleming 96.
Fontana 51.
Fonvielle, de 53.
Forbes 62.
Foucault 47, 74, 115.
Fourier 63.
Frankenheim 50.
Franklin 31, 37 ff.
Fraunhofer 73.
Fresnel 48, 72, 81.
Fröhlich 103, 111.
Fry 78.
Fulton 69.

Gädicke 78.
Galvani 82 ff.
Garnerin 12.
Gassiot 98, 117.
Gaßner 99.
Gaugain 96.
Gaulard 112.
Gauß 50, 80, 82, 102, 104.
Gautherot 85.
Gay-Lussac 20, 53, 63, 65.
Geißler 52, 117.
Geitel 113, 121.
Gießing 34.
Giffard 52, 54.
Gilbert 37.
Gintl 106.
Glaisher 53.
Glazebrook 103.
Godfrey 27.
Goldschmidt 51.
Goldstein 122.
Gordon 34, 35.
Goethe 76, 79.
Graham, G. 6, 30.
— Th. 49, 51.
Gralath 35, 36, 38.
Gramme 111.
's Gravesande 45.
Gray 13, 33, 44.
Green 102
Gren 83.
Grenet 99.
Grothuß 85, 97.
Grove 98, 114.
Guericke 34, 38.
Guglielmini 47.
Gülcher 92.
Gusman, de 10.
Guy-Zeller 53.

Hadley 27.
Hagen 49.
Hagenbach 49.
Halley 27, 30.
Hankel 92, 102
Hansen 34.
Hansteen 102.
Hare 90.
Harrison 6.
Hawkins 98.
Hawksbee 32 ff.
Hefner-Alteneck, v. 79, 111, 115.
Heider 114.
Helmholtz 55, 57, 58, 68, 79, 80, 97, 98, 99, 102, 118.
Henley 37.
Hergesell 53.
Herschel, F. W. 61.
— J. 74, 76.
Hertz 119 f.
Higgins 34, 58.
Hill 103.
Himstedt 103, 113, 118.
Hipp 59.
Hittorf 75, 97, 122.
Hjorter 31.
Holtz 117.
Hooke 22, 81, 107.
Hopkins 57.
Horner 80.
Howard 52.
Huggins 76.
Hughes 106, 108, 120.
Hull 19.
Humboldt, v. 56, 84, 87.
Hummel 104.
Hunter 46.
Hutton 8.
Huygens 8, 15, 48.

Ingenhouß 34, 63.

Jablochkow 115.
Jacobi 97, 103, 111, 113.
Jallabert 42.
Jenkin 97.

Digitized by Google

Jobard 114.
Jolly 47.
Jouffroy, de 19.
Joule 67 f., 114.

Kant 50.
Kater 48.
Kelvin s. Thomson, W.
Kempelen, v. 9.
Kienmayer 34.
Kirchhoff 62, 75, 94, 102.
Kirn 117.
Kleist, v. 35.
Klemenčič 118, 120.
Knoblauch 62.
Kohlrausch, F. 49, 103.
— R. 94, 103, 118.
König 57, 58, 59.
Korn 106.
Kratzenstein 42.
Krigar-Menzel 47.
Krizik 115.
Krönig 69.
Krüger 36.
Kundt 57, 73.

Laborde 59.
La Condamine 7.
Ladd 110.
La Hire 7
Lambert 22, 27.
Laurent 81.
Lana 10.
Lane 36.
Langen 71.
Langley 62.
Laplace 24, 50, 56.
Laval 69.
Lavoisier 24, 66.
Lebaillif 101.
Lebon 70.
Leclanché 99.
Leibniz 6, 9, 17, 51.
Le Monnier 36, 41.
Lenard 121 f
Lenoir 71.
Lenormand 12.
Lenz 92, 96, 114.
Leonardo da Vinci 12, 79.
Le Roux 73.
Leslie 62.
Lichtenberg 40
Lieberkühn 27.
Lilienthal 55.
Linde, v. 64.
Link 50.
Linné 46.
Lippmann 78, 103.
Lissajous 59.
Litzendorf 34.
Locher 53.
Lodge 120.
Lommel 76.
Lorenz 103.
Ludolf 35.
Lüdtge 108.
Ludwig 52.
Lumière 78, 80.

Mach 59
Maddox 78.
Magnus 62.
Mairan 31.
Malus 72.
Mance 82.
Marconi 120.
Marianini 98.
Mariotte 26.
Marryat 82.
Marum, v. 35, 86.
Maskelyne 8.
Masson 97, 116.
Maupertuis 7.
Maxwell 69, 78, 96, 104, 118 ff.
Mayer, R. 66 ff.
Méchain 8.
Medhurst 52.
Meidinger 98.
Melde 59.
Melloni 62, 92.
Michell 9.
Michelson 74.
Middeldorpf 114.
Miethe 78.
Miller 19.
— W. A. 74.
Moissan 116.
Moleyns 114.
Moll 56.
Molyneux 28.
Meyer, O. E. 49.
Montgolfier, Gebr. 10 f.
Morse 106 f.
Müller 114.
Munck af Rosenschöld 120.
Murdoch 19.
Musschenbroek, P. v. 36.
Muybridge 78.

Napoleon I. 54, 69.
Natterer 64.
Neeff 116.
Nernst 115.
Neumann, F. E. 102.
— K. 102.
Newcomen 17 f.
Newton 5, 6, 20, 26, 47, 56.
Nicholson 13, 43, 84, 86.
Nicol 81.
Niépce, Cl. 78.
— N. 77.
Nobert 80.
Nobili 62, 90, 92, 114.
Noble 14.
Noé 92.
Noël 30.
Nollet 36, 40, 49.
Nörrenberg 80.

Ohm 58, 93 f.
Olszewski 64 f.
Oersted 49, 86, 87, 88, 91.
Otto 71.

Pacinotti 110.
Page 108.
Papin 15 f., 17, 19.
Parsons 69.
Paetz van Troostwyk 45.
Pedersen 109.
Peltier 92, 121.
Périer 19.
Perkins 63.
Petit 13, 63, 65.
Petrina 110.
Pfaff 86.
Pfaundler 59.
Pflüger 52.
Picard 12.
Pictet, M. A. 25.
— R. 64.
Piette 115.
Pigott 14.
Pinkus 52.
Pivati 42.
Pixii 110.
Planta 34.
Planté 113.
Plateau 50, 79, 80.
Plücker 74, 75, 117.
Poggendorff 66, 90, 92, 93, 98, 103, 110, 114, 117.

Digitized by Google

Poiseuille 49.
Poisson 101.
Pollák 106.
Potter 18.
Pouillet 94.
Poulson 109.
Poynting 47.

Quincke 50, 58, 103.

Rankine 69.
Rayleigh 99, 103.
Réaumur 21, 36.
Regnault 56, 63, 67.
Regnier 9.
Reich 47, 75.
Reil 83.
Reis 107.
Reyher 27.
Richarz 47.
Richer 6, 7, 45.
Richmann 23, 42.
Richter 75.
Riemann 102.
Rieß 100.
Ritchie 79, 110.
Ritter 84 f., 93, 98.
Rive, de la, A. 113.
— G. 91, 94.
— L. 120.
Robertson 53.
Roberval, de 13.
Robins 9.
Robison 19.
Rochas, de 71.
Roiti 103.
Romas, de 42.
Römer 27.
Röntgen 122.
Roscoe 79.
Roß 102.
Rozier, de 11.
Rubens 103.
Ruhmer 109.
Rühmkorff 116 f.
Rumford 60 ff., 79.
Rumkorf s. Rühmkorff.
Rumsey 19.
Rutherford 22.

Sacharow 53.
Salva 104.
Samuda 52.
Santorio 22.
Santos Dumont 55.
Sarasin 120.
Saussure 22.
Sauveur 13 f.
Savart 57, 58, 88.
Savery, S. 30.
— Th. 16.
Sawyer 114.
Schaffgotsch 58.
Scheele 25, 51.
Scheibler 57.
Schilling von Canstadt 105.
Schimper 52.
Schinz 51.
Schönbein 98, 99.
Schuckert 115.
Schulze 77.
Schweigger 89 f.
Scott 59.
Seebeck, L. 57, 79.
— Th. 7, 62, 89, 91.
Segner 10.
Siedentopf 80.
Siemens 59, 79, 103, 106, 110.
Sigaud de la Fond 34.
Sigsfeld, v. 54.
Simon 85, 86.
Sinsteden 113.
Six 22.
Slaby 121.
Smee 99, 113.
Smith 69.
Sohncke 121.
Soleil 81.
Sömmering 82, 104.
Sorge 14.
Sprengel 52.
Stampfer 80.
Starr 114.
Steinheil 104, 114.
Stephenson, G. 70.
— R. 106.
Stöhrer 110, 117.
Stokes 76.
Strömer 22.
Sturgeon 98.
Sturm 49, 57.
Sulzer 84 f.
Süring 54.
Swan 74.
Symington 19.
Symmer 39.
Tainter 109.
Talbot 74, 77.
Tartini 14.
Taylor 14.
Tesla 111, 113.
Thilorier 64.
Thomson, E. 116.
— J. J. 118.
— W. 92, 103, 106, 117, 118.
Thompson s. Rumford.
Tissandier 53.
Töpler 117.
Trevithick 70.
Triewald 63.
Tyndall 59, 68.

Vail 106.
Vallance 52.
Vaucanson, de 9.
Vidi 51.
Violle 79.
Virág 106.
Vogel 78.
Volta 37, 43, 83 ff., 85, 86.

Wagner 111, 116.
Waitz v. 37.
Wall 33, 40.
Walsh 45
Waltenhofen, v. 114.
Warburg 49.
Watson 36, 37.
Watt 18 f.
Weber, E. H. 56.
— Fr. 103.
— R. 58.
— W. 49, 56, 59, 102, 103, 104, 118.
Wedgewood 77.
Wehnelt 117.
Weinhold 107.
Wertheim 49, 59.
Weston 99.
Wheatstone 59, 79, 106, 108, 110, 118.
Wiedemann 103.
Wiener 78.
Wild 79, 81, 103.
Wilde 110.
Wilke 23, 38, 46.
Willson 116.
Wilsing 47.
Wilson 34, 40.
Winkler 34, 40.
Wolf 78.

Digitized by Google

Wollaston 21, 45, 73, 77.
Wright 113.
Wroblewski, v. 64.
Wüllner 75.

Young, J. 74.
— Th. 49, 50, 71.

Zamboni 85.
Zeeman 121.
Zehnder 120.
Zeiher 51.
Zeiß 63.
Zepf 96.
Zeppelin 54.
Zeuner 69.
Zickler 121.
Zöllner 76, 79, 114.
Zsigmondy 80.
Zulkowsky 52.

Sachregister.

Aberration des Lichts 28.
Ablenkung des Lotes 8.
— der Magnetnadel 87 f., 104.
Absorption 51.
— v. Wärme 62.
Abweichung, östliche 47.
Achromasie 26.
Achsendrehung der Erde 47.
Akkumulator 85, 113.
Amalgam 34, 98.
Analytische Mechanik 6.
Aneroidbarometer 51.
Anziehung der Massen 9.
Äquivalenz v. Wärme u. Arbeit 66 f.
Aräometer 13.
Astatische Nadeln 90.
Atmosphäre, elektrische 38.
Auge 26, 79.
Augenspiegel 79.
Ausdehnung durch Wärme 6, 11, 21, 24, 63.
Auslader 37.
Automaten 9.
Automobil 19, 71.

Bahn, pneumatische 52.
Balduinscher Phosphor 77.
Barometer 12, 51.
Beatifikation 35.
Becquerelstrahlen 123.
Beleuchtung, elektrische 114 f.
Benzinmotor 71.
Beugungsgitter 73.
Bifilarmagnetometer 102.
Bleisicherung 115.
Blitzableiter 40 f.
Blitzlicht 78.
Bogenlampe 115.
— sprechende 109.
Bolometer 62.
Bunsenbrenner 79.

C-G-S.-System 102.
Charliere 11 f.
Chronometer 7.

Daguerrotypie 77.
Dampfboot 19, 69 ff.
Dampfelektrizität 100.
Dampfkochtopf 15
Dampfmaschine 16 ff., 65 ff., 69.
Dampfstraßenwagen 19.
Dampfturbine 69.
Deklination 30.
Diamagnetismus 101.
Diathermansie 62.
Dichte der Erde 8 f.
Dielektrikum 99.
Diffusion 49, 51.
Digestor 15.
Diorama 77.
Dispersion 26, 73.
Drachenballon 54.
Drahtlose Telegraphie 120.
— Telephonie 109.
Drehstrom 111.
Drehwage 9, 31, 38, 43, 47.
Drucktelegraph 106.
Duplikator 43.
Dynamomaschine 110 f.

Eisenbahn 70.
Elastizität 48.
Elektrisiermaschine 34, 117.
Elektrizität, atmosphärische 40 ff., 121.
—, Einheiten der 103.
—, Entladung der 99, 116 f., 122 f.
—, Quellen der 34, 82 ff., 100, 117.
—, Physiolog. Wirkung der 36, 42.
—, positive und negative 40.
—, Sitz der 43 f., 100, 101.
—, tierische 45, 82 ff.
—, Wesen der 38 f., 118 f.
Elektrodynamik 89 ff.
Elektrolyse 44 f., 84 f., 97.
Elektromagnetismus 89.
Elektromotor 111 f.
Elektroskop 37, 43.
Elektrotherapie 42.
Element, konstantes 98.
—, schwimmendes 91.
Emissionstheorie 28, 71 ff.
Erde, Gestalt der 7 f.
Erdmagnetismus 53, 89, 90, 102.
Erdstrom 89.

Digitized by Google

Erhaltung der Energie 66f.
Extrastrom 97.

Fallmaschine 9.
Fallschirm 12.
Federdynamometer 9.
Fernrohr 27.
Fesselballon 54.
Feuermelder 106.
Figuren, Lichtenbergs 39.
Flaggensprache 82.
Flamme, manometrische 60.
—, sensible 58.
Flugmaschine 55.
Flugrad, elektrisches 40.
Fluoreszenz 76, 123.
Franklinsche Tafel 42f.
Fritter 120.
Fundamentalversuch Voltas 43, 84, 98.
Funken, elektrischer 32, 85f., 97.

Galvanokaustik 114.
Galvanometer 90.
Galvanoplastik 113f.
Galvanoskop 85.
Gasdichte 51.
Gasmotor 70.
Gastheorie, kinetische 69.
Geißlersche Röhre 74, 117.
Geschwindigkeit der Elektrizität 37, 60.
—, des Lichts 28, 74.
— des Schalls 15, 56, 65.
Gesetz d. elektr. Anziehung u. Abstoßung 33.
Glühlampe 114.
Gradmessungen 7f.
Grammophon 60.
Gyroskop 48.

Harmonika, chemische 58.
Hefnerkerze 79.
Heliograph 82.
Hinrichtung, elektrische 113.
Hufeisenmagnet 30.
Hygroskop 20, 22.

Induktion 94ff.
Induktionsapparat 116f.
Influenz, elektrische 38.
Injektor 52.
Inklination 30.
Interferenz des Lichts 72.
— des Schalls 57.
Isogonen 30.
Isoklinen 30.
Isolation 106f.
Isolierschemel 33.

Jungfraubahn 53.

Kaleidoskop 79.
Kalorimeter 24.
Kalorimotor 90.
Kälte, größte 64f.
Kältemischung 21.
Kammerton 59.
Kanalstrahlen 122.
Kapillarelektrometer 103.
Kapillarität 50.
Kaskadenbatterie 37.
Kathetometer 13.
Kathodenstrahlen 122.
Kinematograph 80.
Klangfiguren 14.
Klemmschraube 98.
Klingel, elektrische 116.
Kohärer 120.
Kombinationstöne 14, 58.
Kompensationspendel 6f.
Kondensator 19.
—, elektrischer 35f., 42f., 84f.
Konduktor 34.
Kopiertelegraph 106.
Kraftlinien 96, 101f.
Kraftübertragung, elektrische 112.

Ladungssäule 85.
Lebensrad 80.
Leidener Flasche 35f., 42f.
Leitung der Elektrizität 33, 86.
Leuchten der Torricellischen Leere 12, 32.
Leuchtfeuerapparat 81.
Lichtbogen, elektrischer 86, 90.
Lichtstärke 79.
Lichttheorie, elektromagnetische 118f.
Linien Fraunhofers 73.
Linsenformel 27.
Lokomotive 16, 19, 70, 111f.
Longitudinalton 14.
Luftdruck 10, 16f.
Luftfahrten 11f., 53f.
Luft, flüssige 64.
Luftpumpe 52.
Luftschiff 10ff., 53ff.
—, lenkbares 54f.
Luftthermometer 20.
Luftwiderstand 9.

Magnetelektrische Maschine 96, 110f.
Magnetinduktion 95f.
Magnetisierung 30.
Maßflasche 36.
Mehrphasenströme 111.
Membranophon 59.
Meßapparate, elektrische 90, 103.
Metermaß 8.
Mikrophon 108.
Mikroskop 13, 80.
Molekularströme 80.
Monochord 57.
Montgolfiere 11.
Mühlrad 10.

Nernstlampe 115.
Nicolprisma 81.
Nordlicht 31.
Normalelement 99.
Normalglas 63.
Nullpunkt, absoluter 20 65.

Oberton 14.
Ofen, elektrischer 118.
Optik, physiologische 79.
Orgelpfeife 13, 15.
Osmiumglühlicht 115.
Osmose 49.

Peltiereffekt 92.
Pendel 6, 8f. 47f.
—, ballistisches 9.
—, Foucaults 47.
Pendeluhr 6.
Perpetuum mobile 10, 85.
Petroleummotor 71.
Phonautograph 59.
Phonograph 60.
Phosphor, Balduinscher 77.
—, merkurialischer 32.
Phosphoreszenz 76f.

Photographie 77 f.
Photographon 109.
Photometer 79.
Photophon 109.
Piëzometer 79.
Pneumatik 71.
Polarisation, galv. 98.
— des Lichts 72 f., 80 f., 100.
Polarisationsapparat 80.
Polarisationsebene, elektrom. Drehung d. 100.
Polaristrobometer 81.
Potentialtheorie 101.
Prinzip, dynamoelektrisches 110.
Pulsmesser 52.
Pupinspulen 106.
Pyknometer 13.

Quadrant 27.
Quadrantelektrometer 37, 103.
Quecksilberluftpumpe 52.

Raddampfer 19.
Radium 32, 123.
Radioaktivität 123.
Radiokonduktor 120.
Radiometer 62.
Radioskopie 122.
Reibung 9.
Resonator 58.
Reversionspendel 48.
Rohrpost 52.
Röntgenstrahlen 32, 122.
Rostpendel 7.
Rotationsmagnetismus 95.

Saccharimeter 81.
Saitenschwingungen 14.
Saugkamm 34, 40.
Scheinwerfer 115.
Schieberventil 19.
Schießpulvermaschine 16.
Schnellseher 80.
Schnelltelegraph 106.
Schreibstimmgabel 59.
Schutzkleidung gegen Elektrizität 113.
Schwebungen 13.
Schwerkraft, Veränderlichkeit der 7.
Schwimmregel 89.
Schwingungszahl 14, 57.
Schwungrad 19.
Sekundenpendel 6, 8, 48.
Selbstunterbrecher 116 f.
Semaphor 81.
Senkwage 13.
Sicherheitsventil 16.
Sideroskop 101.
Siedepunkt 15, 20, 21.
Sinusbussole 94.
Sirene 57.
Solenoid 89.
Sonnenmikroskop 27.
Spannungsreihe 86 f.
Spektralanalyse 74 f.
— untersuchungen 73 ff.
Spiegelablesung 103.
Spiegelsextant 27.
Spitzenwirkung 40 f.
Sprechmaschine 9.
Staubfiguren Kundts 57.
Stereoskop 79.
Stimmgabel 57.
Stöße 13.
Stoßheber 10.
Stroboskop 59, 80.
Strom und Magnet 90 ff.
Stromverzweigungen 94.

Talbotypie 77.
Tangentenbussole 94, 96.
Telegraphie, el. 104—107.
—, lichtelektr. 121.
—, optische 81 f.
Telegraphon 109.
Telephon 107—109.
Telephonograph 109.
Temperatur, kritische 64.
Teslaströme 113.
Thermobarometer 13, 21.
Thermodynamik 65 f.
Thermoelektrizität 46, 91 f.
Thermomagnetismus 91.
Thermometer 20 f., 22, 63.
Thermomultiplikator 62.
Thermosäule 92.
Thomsoneffekt 92.
Tonempfindung 58.
Transformator 112.
Transversalton 14.
Trockenelement 99.
Trockenplatte 78.
Trockensäule 85.
Tropfenbildung 50.
Turbine 10.
Turmalinzange 72.

Überkältung 21.
Ultramikroskopie 80.
Ultrarot 62.
Undulationstheorie 28, 62, 71 ff.
Unruhe 7.
Unterseetelegraphie 107.

Verflüssigung der Gase 64 f.
Vibrationschronoskop 59.
Viskosität 49.
Voltainduktion 95 f.
Voltameter 85, 98.

Wanderung der Ionen 97.
Wärme, latente 23.
—, Leitung der 63.
— menge 22.
—, spezifische 23 f., 65.
—, strahlende 25, 62 f.
Wärmeäquivalent 67 f.
Wärmewirkung der Elektrizität 86, 114.
Wasserheizung 63.
Wasserluftpumpe 52.
Wasserrad 10.
Wechselwirkung beweglicher Stromleiter 89.
Wellen, elektrische 118 f.
Wellenmaschine 59.
Wellenrinne 56.
Wesen der Elektrizität 38 f., 118 f.
— des Lichts 28, 62, 71 ff., 118 f.
— des Magnetismus 31, 89.
— der Wärme 20, 26, 60 ff.
Widder, hydraulischer 10.
Wind, elektrischer 40.
Winkerflaggen 82.
Wirkungskreis, el. 38.

X-Strahlen 32, 122.

Zeemaneffekt 121.
Zeitmesser 6 f.
Zerstäuber 52.
Zonenlinsen 81.
Zündung, el. 35.

Digitized by Google

Sammlung Göschen

In elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

Bibliothek zur Philosophie.

Hauptprobleme der Philosophie v. Prof. Dr. Georg Simmel in Berlin. Nr. 500.

Einführung in die Philosophie von Dr. Max Wentscher, Professor an der Universität Königsberg. Nr. 281.

Geschichte der Philosophie IV: Neuere Philosophie bis Kant von Dr. Bruno Bauch, Privatdoz. an der Univers. Halle a. S. Nr. 394.

Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Professor Dr. Th. Elsenhans. Mit 18 Figuren. Nr. 14.

Grundriß der Psychophysik von Professor Dr. G. F. Lipps in Leipzig. Mit 8 Figuren. Nr. 98.

Ethik von Prof. Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.

Allgemeine Ästhetik von Prof. Dr. Max Dietz, Lehrer an der Kgl. Akademie der bildenden Künste in Stuttgart. Nr. 300.

☛ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Bibliothek zur Sprachwissenschaft.

Indogermanische Sprachwissenschaft von Dr. R. Meringer, Professor an der Universität Graz. Mit 1 Tafel. Nr. 59.

Germanische Sprachwissenschaft von Dr. Rich. Loewe in Berlin. Nr. 238.

Romanische Sprachwissenschaft von Dr. Adolf Zauner, Privatdozent an der Universität Wien. 2 Bände. Nr. 128, 250.

Semitische Sprachwissenschaft von Dr. C. Brockelmann, Professor an der Universität Königsberg. Nr. 291.

Finnisch-ugrische Sprachwissenschaft von Prof. Dr. Josef Szinnyei in Budapest. Nr. 468.

Geschichte der klassischen Philologie von Dr. Wilh. Kroll, ord. Prof. an der Universität Münster. Nr. 367.

Deutsche Grammatik und kurze Geschichte der deutschen Sprache von Schulrat Professor Dr. O. Lyon in Dresden. Nr. 20.

Deutsche Poetik von Dr. K. Borinski, Professor an der Universität München. Nr. 40.

Deutsche Redelehre von Hans Probst, Gymnasialprof. in Bamberg. Nr. 61.

Aufsatzentwürfe von Oberstudienrat Dr. L. W. Straub, Rektor des Eberhard-Ludwigs-Gymnasiums in Stuttgart. Nr. 17.

Wörterbuch nach der neuen deutschen Rechtschreibung v. Dr. Heinrich Klenz. Nr. 200.

Deutsches Wörterbuch von Dr. Richard Loewe in Berlin. Nr. 64.

Das Fremdwort im Deutschen von Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 55.

Deutsches Fremdwörterbuch von Dr. Rudolf Kleinpaul in Leipzig. Nr. 273.

Plattdeutsche Mundarten v. Prof. Dr. Hub. Grimme, Freiburg (Schweiz). Nr. 461.

Die deutschen Personennamen von Dr. Rudolf Kleinpaul in Leipzig. Nr. 422.

Länder- und Völkernamen von Dr. Rudolf Kleinpaul in Leipzig. Nr. 478.

Englisch-deutsches Gesprächsbuch von Professor Dr. E. Hausknecht in Lausanne. Nr. 494.

Digitized by Google

Grundriß der lateinischen Sprachlehre v. Prof. Dr. W. Botsch i. Magdeburg. Nr. 82.

Geschichte der lateinischen Sprache von Prof. Dr. Friedr. Stolz in Innsbruck. Nr. 492.

Russische Grammatik von Dr. Erich Berneker, Prof. an der Universit. Prag. Nr. 66.

Russisches Vokabelbuch von Dr. Erich Boehme, Lektor an der Handelshochschule Berlin. Nr. 475.

Russisch-Deutsches Gesprächsbuch von Dr. Erich Berneker, Professor an der Universität Prag. Nr. 68.

Russisches Lesebuch mit Glossar v. Dr. Erich Berneker, Prof. a. d. Univ. Prag. Nr. 67.

Russische Literatur v. Dr. Erich Boehme, Lektor an d. Handelshochschule Berlin.
I. Teil: Auswahl moderner Prosa und Poesie mit ausführlichen Anmerkungen und Akzentbezeichnung. Nr. 403.
— II. Teil: Всеволодъ Гаршинъ, Разсказы. Mit Anmerkungen und Akzentbezeichnung. Nr. 404.

Siehe auch „Handelswissenschaftliche Bibliothek".

Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Literaturgeschichtliche Bibliothek.

Deutsche Literaturgeschichte von Dr. Max Koch, Professor an der Universität Breslau. Nr. 31.

Deutsche Literaturgeschichte der Klassikerzeit von Prof. Carl Weitbrecht. Durchgesehen und ergänzt von Karl Berger. Nr. 161.

Deutsche Literaturgeschichte des 19. Jahrhunderts von Carl Weitbrecht. Durchgesehen und ergänzt von Dr. Richard Weitbrecht in Wimpfen. 2 Teile. Nr. 134, 135.

Geschichte des deutschen Romans von Dr. Hellmuth Mielke. Nr. 229.

Gotische Sprachdenkmäler mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Dr. Herm. Jantzen, Dir. d. Königin-Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 79.

Althochdeutsche Literatur mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Th. Schauffler, Prof. am Realgymnasium in Ulm. Nr. 28.

Eddalieder mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Dr. Wilh. Ranisch, Gymnasialoberlehrer in Osnabrück. Nr. 171.

Das Walthari-Lied. Ein Heldensang aus dem 10. Jahrhundert im Versmaße der Urschrift übersetzt u. erläutert v. Prof. Dr. H. Althof in Weimar. Nr. 46.

Dichtungen aus mittelhochdeutscher Frühzeit. In Auswahl mit Einleitungen und Wörterbuch herausgegeben von Dr. Hermann Jantzen, Direktor der Königin-Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 137.

Der Nibelunge Nôt in Auswahl und **mittelhochdeutsche Grammatik** mit kurzem Wörterbuch von Dr. W. Golther, Prof. an der Universität Rostock. Nr. 1.

Kudrun und Dietrichepen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Jiriczek, Prof. an der Universität Münster. Nr. 10.

Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem höfischen Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch v. Dr. K. Marold, Prof. a. Kgl. Friedrichskollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.

Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von O. Güntter, Prof. an der Oberrealschule und an der Techn. Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.

Die Epigonen des höfischen Epos. Auswahl aus deutschen Dichtungen des 13. Jahrhunderts von Dr. Viktor Junk, Aktuarius der Kais. Akademie der Wissenschaften in Wien. Nr. 289.

Digitized by Google

Literaturdenkmäler des 14. und 15. Jahrhunderts, ausgewählt und erläutert von Dr. Hermann Jantzen, Direktor der Königin-Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 181.

Literaturdenkmäler des 16. Jahrhunderts. I: **Martin Luther, Thomas Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts.** Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

— II: **Hans Sachs.** Ausgewählt u. erläutert v. Professor Dr. Julius Sahr. Nr. 24.

— III: **Von Brant bis Rollenhagen: Brant, Hutten, Fischart, sowie Tierepos und Fabel.** Ausgewählt u. erläutert von Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 36.

Deutsche Literaturdenkmäler des 17. und 18. Jahrhunderts von Dr. Paul Legband in Berlin. 1. Teil. Nr. 364.

Simplicius Simplicissimus von Hans Jakob Christoffel von Grimmelshausen. In Auswahl herausgegeben von Prof. Dr. F. Bobertag, Dozent an der Universität Breslau. Nr. 138.

Das deutsche Volkslied. Ausgewählt und erläutert von Professor Dr. Julius Sahr. 2 Bändchen. Nr. 25, 132.

Englische Literaturgeschichte von Dr. Karl Weiser in Wien. Nr. 69.

Grundzüge und Hauptitypen der englischen Literaturgeschichte von Dr. Arnold M. M. Schröer, Prof. an der Handelshochschule in Köln. 2 Teile. Nr. 286, 287.

Italienische Literaturgeschichte von Dr. Karl Voßler, Prof. an der Universität Heidelberg. Nr. 125.

Spanische Literaturgeschichte von Dr. Rudolf Beer in Wien. 2 Bde. Nr. 167, 168.

Portugiesische Literaturgeschichte von Dr. Karl von Reinhardstoettner, Prof. an der Königl. Technischen Hochschule München. Nr. 213.

Russische Literaturgeschichte von Dr. Georg Polonskij in München. Nr. 166.

Russische Literatur v. Dr. Erich Boehme, Lektor an d. Handelshochschule Berlin. I. Teil: Auswahl moderner Prosa und Poesie mit ausführlichen Anmerkungen und Akzentbezeichnung. Nr. 403.

— II. Teil: Всеволодъ, Гаршинъ, Разсказы. Mit Anmerkungen und Akzentbezeichnung. Nr. 404.

Slavische Literaturgeschichte von Dr. Josef Karásek in Wien. I: Ältere Literatur bis zur Wiedergeburt. Nr. 277.

— II: Das 19. Jahrhundert. Nr. 278.

Nordische Literaturgeschichte. I: Die isländische und norwegische Literatur des Mittelalters von Dr. Wolfgang Golther, Prof. an der Univ. Rostock. Nr. 254.

Die Hauptliteraturen des Orients von Dr. Mich. Haberlandt, Privatdozent an der Universität Wien. I: Die Literaturen Ostasiens und Indiens. Nr. 162.

— II: Die Literaturen der Perser, Semiten und Türken. Nr. 163.

Griechische Literaturgeschichte mit Berücksichtigung der Geschichte der Wissenschaften von Dr. Alfred Gercke, Prof. an der Univers. Greifswald. Nr. 70.

Römische Literaturgeschichte von Dr. Herm. Joachim in Hamburg. Nr. 52.

Die Metamorphosen des P. Ovidius Naso. In Auswahl mit einer Einleitung und Anmerkungen herausgegeben von Dr. Julius Ziehen in Frankfurt a. M. Nr. 442.

Vergil Aeneis. In Auswahl mit einer Einleitung und Anmerkungen herausgegeben von Dr. Julius Ziehen in Frankfurt a. M. Nr. 497.

☞ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Digitized by Google

Geschichtliche Bibliothek.

Einleitung in die Geschichtswissenschaft von Dr. Ernst Bernheim, Prof. an der Universität Greifswald. Nr. 270.

Urgeschichte der Menschheit von Dr. Moriz Hoernes, Prof. an der Universität in Wien. Mit 53 Abbildungen. Nr. 42.

Geschichte des alten Morgenlandes von Dr. Fr. Hommel, o. ö. Prof. der semitischen Sprachen an der Universität in München. Mit 9 Voll- und Textbildern und 1 Karte des Morgenlandes. Nr. 43.

Geschichte Israels bis auf die griechische Zeit von Lic. Dr. J. Benzinger. Nr. 281.

Neutestamentliche Zeitgeschichte I: Der historische und kulturgeschichtliche Hintergrund des Urchristentums von Lic. Dr. W. Staerk, Professor an der Universität Jena. Mit 3 Karten. Nr. 325.

— II: Die Religion des Judentums im Zeitalter des Hellenismus und der Römerherrschaft. Mit einer Planskizze. Nr. 326.

Griechische Geschichte von Dr. Heinrich Swoboda, Prof. an der Deutschen Univ. Prag. Nr. 49.

Griechische Altertumskunde von Prof. Dr. Rich. Maisch, neubearbeitet von Rektor Dr. Franz Pohlhammer. Mit 9 Vollbildern. Nr. 16.

Römische Geschichte von Realgymnasialdirektor Dr. Julius Koch in Grunewald. Nr. 19.

Römische Altertumskunde von Dr. Leo Bloch in Wien. Mit 8 Vollbild. Nr. 45.

Geschichte des Byzantinischen Reiches von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 190.

Deutsche Geschichte I: Mittelalter (bis 1519) von Prof. Dr. F. Kurze, Oberlehrer am Kgl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 83.

— II: Zeitalter der Reformation und der Religionskriege (1500—1648) von Prof. Dr. F. Kurze, Oberlehrer am Kgl. Luisengymn. in Berlin. Nr. 84.

— III: Vom Westfälischen Frieden bis zur Auflösung des alten Reichs (1648 bis 1806) von Prof. Dr. F. Kurze, Oberlehrer am Kgl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 85.

Deutsche Stammeskunde von Dr. Rudolf Much, Prof. an der Universität in Wien. Mit 2 Karten und 2 Tafeln. Nr. 126.

Die deutschen Altertümer von Dr. Franz Fuhse, Direktor des Städt. Museums in Braunschweig. Mit 70 Abbildungen. Nr. 124.

Abriß der Burgenkunde von Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 80 Abbildungen. Nr. 119.

Deutsche Kulturgeschichte von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.

Deutsches Leben im 12. u. 13. Jahrhundert. Realkommentar zu den Volks- und Kunstepen und zum Minnesang. I: Öffentliches Leben. Von Prof. Dr. Jul. Dieffenbacher in Freiburg i. B. Mit 1 Tafel u. Abbildungen. Nr. 98.

— II: Privatleben. Mit Abbildungen. Nr. 328.

Quellenkunde zur Deutschen Geschichte von Dr. Carl Jacob, Prof. an der Universität in Tübingen. 1. Band. Nr. 279.

Österreichische Geschichte. I: Von der Urzeit bis zum Tode König Albrechts II. (1439) von Prof. Dr. Franz von Krones, neubearbeitet von Dr. Karl Uhlirz, Prof. an der Univ. Graz. Mit 11 Stammtafeln. Nr. 104.

— II: Vom Tode König Albrechts II. bis zum Westfälischen Frieden (1440 bis 1648) von Prof. Dr. Franz von Krones, neubearbeitet von Dr. Karl Uhlirz, Prof. an der Universität Graz. Mit 2 Stammtafeln. Nr. 105.

Englische Geschichte von Prof. L. Gerber, Oberlehrer in Düsseldorf. Nr. 375.

Französische Geschichte von Dr. R. Sternfeld, Prof. an der Univ. Berlin. Nr. 85.

Digitized by Google

Russische Geschichte von Dr. Wilhelm Reeb, Oberlehrer am Ostergymnasium in Mainz. Nr. 4.

Polnische Geschichte von Dr. Clemens Brandenburger in Posen. Nr. 388.

Spanische Geschichte von Dr. Gust. Diercks. Nr. 266.

Schweizerische Geschichte v. Dr. K. Dändliker, Prof. a. d. Univ. Zürich. Nr. 188.

Geschichte der christlichen Balkanstaaten (Bulgarien, Serbien, Rumänien, Montenegro, Griechenland) von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 381.

Bayerische Geschichte von Dr. Hans Ockel in Augsburg. Nr. 160.

Geschichte Frankens von Dr. Christian Meyer, Kgl. preuß. Staatsarchivar a. D. in München. Nr. 434.

Sächsische Geschichte von Prof. Otto Kaemmel, Rektor des Nikolaigymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.

Württembergische Geschichte von Dr. Karl Weller, Professor am Karlsgymnasium in Stuttgart. Nr. 462.

Thüringische Geschichte von Dr. Ernst Devrient in Jena. Nr. 352.

Badische Geschichte von Dr. Karl Brunner, Prof. am Gymnasium in Pforzheim u. Privatdozent der Geschichte an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 230.

Geschichte Lothringens von Geh. Reg.-R. Dr. Herm. Derichsweiler in Straßburg. Nr. 6.

Die Kultur der Renaissance. Gesittung, Forschung, Dichtung von Dr. Robert F. Arnold, Professor an der Universität Wien. Nr. 189.

Geschichte des 19. Jahrhunderts von Oskar Jäger, o. Honorarprofessor an der Universität Bonn. 1. Bändchen: 1800—1852. Nr. 216.

— 2. Bändchen: 1853 bis Ende des Jahrhunderts. Nr. 217.

Kolonialgeschichte von Dr. Dietrich Schäfer, Prof. der Geschichte an der Univ. Berlin. Nr. 156.

Die Seemacht in der deutschen Geschichte von Wirkl. Admiralitätsrat Dr. Ernst von Halle, Prof. an der Universität Berlin. Nr. 370.

☛ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Geographische Bibliothek.

Physische Geographie von Dr. Siegm. Günther, Professor an der Königl. Technischen Hochschule in München. Mit 32 Abbildungen. Nr. 26.

Astronomische Geographie von Dr. Siegm. Günther, Professor an der Königl. Technischen Hochschule in München. Mit 52 Abbildungen. Nr. 92.

Klimakunde. I: Allgemeine Klimalehre von Professor Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Tafeln u. 2 Figuren. Nr. 114.

Paläoklimatologie von Dr. Wilh. R. Eckardt in Aachen. Nr. 482.

Meteorologie von Dr. W. Trabert, Professor a. d. Universität in Innsbruck. Mit 49 Abbildungen und 7 Tafeln. Nr. 54.

Physische Meereskunde von Prof. Dr. Gerhard Schott, Abteilungsvorsteher an der Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 39 Abb. im Text u. 8 Tafeln. Nr. 112.

Paläogeographie. Geologische Geschichte der Meere u. Festländer v. Dr. Franz Kossmat in Wien. Mit 6 Karten. Nr. 406.

Das Eiszeitalter von Dr. Emil Werth in Berlin-Wilmersdorf. Mit 17 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 431.

Die Alpen von Dr. Rob. Sieger, Prof. an der Universität Graz. Mit 19 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 129.

Gletscherkunde von Dr. Fritz Machaček in Wien. Mit 5 Abbildungen im Text und 11 Tafeln. Nr. 154.

Digitized by Google

Pflanzengeographie von Prof. Dr. Ludwig Diels, Privatdoz. an der Univers. Berlin. Nr. 389.

Tiergeographie von Dr. Arnold Jacobi, Professor der Zoologie an der Königl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 2 Karten. Nr. 218.

Länderkunde von Europa von Dr. Franz Heiderich, Professor am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 14 Textkärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpeneinteilung. Nr. 62.

— **der außereuropäischen Erdteile** von Dr. Franz Heiderich, Professor am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 11 Textkärtchen u. Profil. Nr. 68.

Landeskunde und Wirtschaftsgeographie des Festlandes Australien von Dr. Kurt Hassert, Professor an der Handelshochschule in Köln. Mit 8 Abbildungen, 6 graphischen Tabellen und 1 Karte. Nr. 319.

— **von Baden** von Professor Dr. O. Kienitz in Karlsruhe. Mit Profilen, Abbildungen und 1 Karte. Nr. 199.

— **des Königreichs Bayern** von Dr. W. Götz, Professor an der Königl. Techn. Hochschule München. Mit Profilen, Abbildungen und 1 Karte. Nr. 176.

— **der Republik Brasilien** von Rodolpho von Ihering. Mit 12 Abbildungen und einer Karte. Nr. 373.

— **von Britisch-Nordamerika** von Professor Dr. A. Oppel in Bremen. Mit 13 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 284.

— **von Elsaß-Lothringen** von Prof. Dr. R. Langenbeck in Straßburg i. E. Mit 11 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 215.

— **von Frankreich** von Dr. Richard Neuse, Direktor der Oberrealschule in Spandau. 1. Bändchen. Mit 23 Abbildungen im Text und 16 Landschaftsbildern auf 16 Tafeln. Nr. 466.

— — 2. Bändchen. Mit 15 Abbildungen im Text, 18 Landschaftsbildern auf 16 Tafeln und einer lithographischen Karte. Nr. 467.

— **des Großherzogtums Hessen, der Provinz Hessen-Nassau und des Fürstentums Waldeck** von Prof. Dr. Georg Greim in Darmstadt. Mit 13 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 376.

— **der Iberischen Halbinsel** v. Dr. Fritz Regel, Prof. a. d. Univ. Würzburg. Mit 8 Kärtchen u. 8 Abbild. im Text u. 1 Karte im Farbendruck. Nr. 235.

— **der Großherzogtümer Mecklenburg und der Freien und Hansestadt Lübeck** von Realschuldirektor Dr. Sebald Schwarz in Lübeck. Mit 17 Abbildungen u. Karten im Text, 16 Tafeln u. einer lithogr. Karte. Nr. 487.

— **von Österreich-Ungarn** von Dr. Alfred Grund, Professor an der Universität Berlin. Mit 10 Textillustrationen und 1 Karte. Nr. 244.

— **der Rheinprovinz** von Dr. B. Steinecke, Direktor des Realgymnasiums in Essen. Mit 9 Abb., 3 Kärtchen und 1 Karte. Nr. 308.

— **des Europäischen Rußlands nebst Finnlands** von Dr. Alfred Philippson, ord. Prof. der Geographie an der Universität Halle a. S. Mit 9 Abbildungen, 7 Textkarten und einer lithographischen Karte. Nr. 359.

— **des Königreichs Sachsen** von Dr. J. Zemmrich, Oberlehrer am Realgymnasium in Plauen. Mit 12 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 258.

— **der Schweiz** von Professor Dr. H. Walser in Bern. Mit 16 Abbildungen und einer Karte. Nr. 398.

— **von Skandinavien** (Schweden, Norwegen und Dänemark) von Heinrich Kerp, Lehrer am Gymnasium und Lehrer der Erdkunde am Comenius-Seminar zu Bonn. Mit 11 Abbildungen und 1 Karte. Nr. 209.

— **der Vereinigten Staaten von Nordamerika** von Prof. Heinrich Fischer, Oberlehrer am Luisenstädtischen Realgymnasium in Berlin. Mit Karten, Figuren im Text und Tafeln. 2 Bändchen. Nr. 381, 382.

Digitized by Google

Landeskunde des Königreichs Württemberg von Dr. Kurt Hassert, Prof. an der Handelshochschule in Köln. Mit 16 Vollbildern und 1 Karte. Nr. 157.

Die deutschen Kolonien I: Togo und Kamerun von Prof. Dr. Karl Dove. Mit 16 Tafeln und einer lithographischen Karte. Nr. 441.

Landes- und Volkskunde Palästinas von Privatdozent Dr. G. Hölscher in Halle a. S. Mit 8 Vollbildern und einer Karte. Nr. 345.

Völkerkunde von Dr. Michael Haberlandt, Privatdozent an der Universität Wien. Mit 56 Abbildungen. Nr. 78.

Kartenkunde, geschichtlich dargestellt von E. Gelcich, Direktor der k. k. Nautischen Schule in Lussinpiccolo, F. Santer, Professor am Realgymnasium in Ulm und Dr. Paul Dinse, Assistent der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin, neu bearbeitet von Dr. M. Groll, Kartograph in Berlin. Mit 71 Abbildungen. Nr. 80.

☞ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Mathematische Bibliothek.

Geschichte der Mathematik von Dr. A. Sturm, Professor am Obergymnasium in Seitenstetten. Nr. 226.

Arithmetik und Algebra von Dr. Hermann Schubert, Prof. an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.

Beispielsammlung zur Arithmetik und Algebra von Dr. Hermann Schubert, Prof. an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 48.

Algebraische Kurven von Eugen Beutel, Oberreallehrer in Bahlingen-Eng. I: Kurvendiskussion. Mit 57 Figuren im Text. Nr. 485.

Determinanten von Paul B. Fischer, Oberlehrer an der Oberrealschule zu Groß-Lichterfelde. Nr. 402.

Ebene Geometrie mit 110 zweifarb. Figuren von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Nr. 41.

Darstellende Geometrie I mit 110 Figuren von Dr. Rob. Haußner, Prof. an der Universität Jena. Nr. 142.

— II. Mit 40 Figuren. Nr. 148.

Ebene und sphärische Trigonometrie mit 70 Fig. von Dr. Gerhard Hessenberg, Professor an der Landwirtschaftl. Akademie Bonn-Poppelsdorf. Nr. 99.

Stereometrie mit 66 Figuren von Dr. R. Glaser in Stuttgart. Nr. 97.

Niedere Analysis mit 6 Fig. von Prof. Dr. Benedikt Sporer in Ehingen. Nr. 58.

Vierstellige Tafeln und Gegentafeln für logarithmisches und trigonometrisches Rechnen in zwei Farben zusammengestellt von Dr. Hermann Schubert, Prof. an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 81.

Fünfstellige Logarithmen von Professor Aug. Adler, Direktor der k. k. Staatsoberrealschule in Wien. Nr. 423.

Analytische Geometrie der Ebene mit 57 Figuren von Prof. Dr. M. Simon in Straßburg. Nr. 65.

Aufgabensammlung zur analytischen Geometrie der Ebene mit 32 Fig. von O. Th. Bürklen, Professor am Realgymnasium in Schwäb.-Gmünd. Nr. 256.

Analytische Geometrie des Raumes mit 28 Abbildungen von Professor Dr. M. Simon in Straßburg. Nr. 89.

Aufgabensammlung zur analytischen Geometrie des Raumes mit 8 Fig. von O. Th. Bürklen, Prof. am Realgymnasium in Schwäb.-Gmünd. Nr. 309.

Höhere Analysis I: Differentialrechnung mit 68 Figuren von Dr. Friedrich Junker, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Nr. 87.

— **II: Integralrechnung** mit 89 Figuren von Dr. Friedrich Junker, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Nr. 88.

Repetitorium und Aufgabensammlung zur Differentialrechnung mit 46 Fig. von Dr. Friedr. Junker, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Nr. 146.

Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung mit 52 Fig. von Dr. Friedr. Junker, Prof. am Karlsgymnasium in Stuttgart. Nr. 147.

Projektive Geometrie in synthetischer Behandlung mit 91 Fig. von Dr. K. Doehlemann, Prof. an der Universität München. Nr. 72.

Mathematische Formelsammlung und Repetitorium der Mathematik, enth. die wichtigsten Formeln und Lehrsätze der Arithmetik, Algebra, algebraischen Analysis, ebenen Geometrie, Stereometrie, ebenen und sphärischen Trigonometrie, math. Geographie, analyt. Geometrie der Ebene und des Raumes, der Differential- und Integralrechnung von O. Th. Bürklen, Prof. am Kgl. Realgymnasium in Schw.-Gmünd. Mit 18 Figuren. Nr. 51.

Versicherungsmathematik von Dr. Alfred Loewy, Prof. an der Universität Freiburg i. Br. Nr. 180.

Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate mit 15 Fig. und 2 Tafeln von Wilh. Weitbrecht, Professor der Geodäsie in Stuttgart. Nr. 302.

Vektoranalysis von Dr. Siegfr. Valentiner, Privatdozent für Physik an der Universität Berlin. Mit 11 Figuren. Nr. 354.

Astronomische Geographie mit 52 Figuren von Dr. Siegm. Günther, Prof. an der Techn. Hochschule in München. Nr. 92.

Astrophysik. Die Beschaffenheit der Himmelskörper von Dr. Walter F. Wislicenus, Prof. an der Universität Straßburg. Neu bearbeitet von Dr. H. Ludendorff in Potsdam. Mit 15 Abbildungen. Nr. 91.

Astronomie. Größe, Bewegung und Entfernung der Himmelskörper von A. F. Möbius, neu bearbeitet von Prof. Dr. Herm. Kobold in Kiel. I. Teil: Das Planetensystem. Mit 88 Figuren. Nr. 11.

Vermessungskunde von Dipl.-Ing. P. Werkmeister, Oberlehrer an der Kaiserl. Technischen Schule in Straßburg i. E., 2 Bändchen. Mit 255 Abbild. Nr. 468/69.

Nautik. Kurzer Abriß des täglich an Bord von Handelsschiffen angewandten Teils der Schiffahrtskunde mit 56 Abbildungen von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigationsschule zu Lübeck. Nr. 84.

Geometrisches Zeichnen von H. Becker, Architekt und Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neu bearbeitet von Prof. J. Vonderlinn, Direktor der Kgl. Baugewerkschule zu Münster i. W. Mit 290 Figuren und 28 Tafeln im Text. Nr. 58.

☞ Weitere Bände sind in Vorbereitung. Gleichzeitig macht die Verlagshandlung auf die „Sammlung Schubert", eine Sammlung mathematischer Lehrbücher, aufmerksam. Ein vollständiges Verzeichnis dieser Sammlung, sowie ein ausführlicher Katalog aller übrigen mathematischen Werke der G. J. Göschen'schen Verlagshandlung kann kostenfrei durch jede Buchhandlung bezogen werden.

Digitized by Google

Naturwissenschaftliche Bibliothek.

Paläontologie und Abstammungslehre von Prof. Dr. Karl Diener in Wien. Mit 9 Abbildungen. Nr. 460.

Der menschliche Körper, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rehmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbildungen und 1 Tafel. Nr. 18.

Urgeschichte der Menschheit von Dr. Moriz Hoernes, Prof. an der Universität Wien. Mit 53 Abbildungen. Nr. 42.

Völkerkunde von Dr. Michael Haberlandt, k. u. k. Kustos der ethnogr. Sammlung des naturhistor. Hofmuseums u. Privatdozent an der Universität Wien. Mit 51 Abbildungen. Nr. 78.

Tierkunde von Dr. Franz v. Wagner, Prof. an der Universität Graz. Mit 78 Abbildungen. Nr. 60.

Abriß der Biologie der Tiere von Dr. Heinrich Simroth, Professor an der Universität Leipzig. Nr. 181.

Tiergeographie von Dr. Arnold Jacobi, Prof. der Zoologie an der Kgl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 2 Karten. Nr. 218.

Das Tierreich. I: Säugetiere, von Oberstudienrat Prof. Dr. Kurt Lampert, Vorsteher des Kgl. Naturalienkabinetts in Stuttgart. Mit 15 Abbild. Nr. 283.

— **III: Reptilien und Amphibien.** Von Dr. Franz Werner, Privatdozent an der Universität Wien. Mit 48 Abbildungen. Nr. 383.

— **IV:** Fische, von Dr. Max Rauther, Privatdozent der Zoologie an der Universität Gießen. Mit 87 Abbildungen. Nr. 356.

— **VI: Die wirbellosen Tiere** von Dr. Ludwig Böhmig, Prof. der Zoologie an der Universität Graz. I: Urtiere, Schwämme, Nesseltiere, Rippenquallen und Würmer. Mit 74 Figuren. Nr. 439.

Entwicklungsgeschichte der Tiere von Dr. Johs. Meisenheimer, Professor der Zoologie an der Universität Marburg. I: Furchung, Primitivanlagen, Larven, Formbildung, Embryonalhüllen. Mit 48 Fig. Nr. 378.

— **II:** Organbildung. Mit 46 Figuren. Nr. 379.

Schmarotzer und Schmarotzertum in der Tierwelt. Erste Einführung in die tierische Schmarotzerkunde von Dr. Franz v. Wagner, Professor an der Universität Graz. Mit 67 Abbildungen. Nr. 151.

Geschichte der Zoologie von Dr. Rud. Burckhardt, weil. Direktor der Zoologischen Station des Berliner Aquariums in Rovigno (Istrien). Nr. 357.

Die Pflanze, ihr Bau und ihr Leben von Professor Dr. E. Dennert in Godesberg. Mit 96 Abbildungen. Nr. 44.

Das Pflanzenreich. Einteilung des gesamten Pflanzenreichs mit den wichtigsten und bekanntesten Arten von Dr. F. Reinecke in Breslau und Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. Mit 50 Fig. Nr. 122.

Die Stämme des Pflanzenreichs von Privatdoz. Dr. Rob. Pilger, Kustos am Kgl. Botanischen Garten in Berlin-Dahlem. Mit 22 Abbildungen. Nr. 485.

Pflanzenbiologie von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbildungen. Nr. 127.

Pflanzengeographie von Prof. Dr. Ludwig Diels, Privatdoz. an der Univers. Berlin. Nr. 389.

Morphologie, Anatomie und Physiologie der Pflanzen von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbildungen. Nr. 141.

Digitized by Google

Die Pflanzenwelt der Gewässer von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbildungen. Nr. 158.

Exkursionsflora von Deutschland zum Bestimmen der häufigeren in Deutschland wildwachsenden Pflanzen von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. 2 Teile. Mit 100 Abbildungen. Nr. 268, 269.

Die Nadelhölzer von Prof. Dr. F. W. Neger in Tharandt. Mit 85 Abbildungen, 5 Tabellen und 3 Karten. Nr. 355.

Nutzpflanzen von Prof. Dr. J. Behrens, Vorst. der Großh. landwirtschaftl. Versuchsanst. Augustenberg. Mit 58 Figuren. Nr. 123.

Das System der Blütenpflanzen mit Ausschluß der Gymnospermen von Dr. R. Pilger, Assistent am Kgl. Botanischen Garten in Berlin-Dahlem. Mit 81 Figuren. Nr. 393.

Pflanzenkrankheiten von Dr. Werner Friedrich Bruck in Gießen. Mit 1 farb. Tafel und 45 Abbildungen. Nr. 310.

Mineralogie von Dr. R. Brauns, Professor an d. Universität Bonn. Mit 132 Abbildungen. Nr. 29.

Geologie in kurzem Auszug für Schulen und zur Selbstbelehrung zusammengestellt von Prof. Dr. Eberh. Fraas in Stuttgart. Mit 16 Abbildungen und 4 Tafeln mit 51 Figuren. Nr. 18.

Paläontologie von Dr. Rud. Hoernes, Professor an der Universität Graz. Mit 87 Abbildungen. Nr. 95.

Petrographie von Dr. W. Bruhns, Professor an der Universität Straßburg i. E. Mit 15 Abbildungen. Nr. 173.

Kristallographie von Dr. W. Bruhns, Prof. an der Universität Straßburg. Mit 190 Abbildungen. Nr. 210.

Geschichte der Physik von A. Kistner, Prof. an der Großh. Realschule zu Sinsheim a. E. I: Die Physik bis Newton. Mit 18 Figuren. Nr. 293.

— II: Die Physik von Newton bis zur Gegenwart. Mit 3 Figuren. Nr. 294.

Theoretische Physik. I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. der Physik an der Technischen Hochschule in Wien. Mit 19 Abb. Nr. 76.

— II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. der Physik an der Technischen Hochschule in Wien. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.

— III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. der Physik an der Technischen Hochschule in Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.

— IV. Teil: Elektromagnetische Lichttheorie und Elektronik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. der Physik an der Technischen Hochschule in Wien. Mit 21 Figuren. Nr. 374.

Radioaktivität von Wilh. Frommel. Mit 18 Figuren. Nr. 317.

Physikalische Messungsmethoden von Dr. Wilhelm Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 49 Figuren. Nr. 301.

Geschichte der Chemie von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Stuttgart. I: Von den ältesten Zeiten bis zur Verbrennungstheorie von Lavoisier. Nr. 264.

— II: Von Lavoisier bis zur Gegenwart. Nr. 265.

Anorganische Chemie von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 37.

Metalloide (Anorganische Chemie I. Teil) von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 211.

Metalle (Anorganische Chemie II. Teil) von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 212.

Digitized by Google

Organische Chemie von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 38.

Chemie der Kohlenstoffverbindungen von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I. II: Aliphatische Verbindungen. 2 Telle. Nr. 191, 192.

— III: Karbocyklische Verbindungen. Nr. 193.

— IV: Heterocyklische Verbindungen. Nr. 194.

Analytische Chemie von Dr. Johannes Hoppe. I: Theorie und Gang der Analyse. Nr. 247.

— II: Reaktion der Metalloide und Metalle. Nr. 248.

Maßanalyse von Dr. Otto Röhm in Stuttgart. Mit 14 Fig. Nr. 221.

Technisch-Chemische Analyse von Dr. G. Lunge, Prof. an der Eidgen. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbildungen. Nr. 195.

Stereochemie v. Dr. E. Wedekind, Prof. a. d. Univ. Tübingen. Mit 84 Abb. Nr. 201.

Allgemeine und physikalische Chemie von Dr. Max Rudolphi, Professor an der Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 22 Figuren. Nr. 71.

Elektrochemie von Dr. Heinrich Danneel in Friedrichshagen. I. Teil: Theoretische Elektrochemie u. ihre physikal.-chemischen Grundlagen. Mit 18 Fig. Nr. 252.

— II: Experimentelle Elektrochemie, Meßmethoden, Leitfähigkeit, Lösungen. Mit 26 Figuren. Nr. 253.

Toxikologische Chemie von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. Mit 6 Abbildungen. Nr. 465.

Agrikulturchemie. I: Pflanzenernährung von Dr. Karl Grauer. Nr. 329.

Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden von Prof. Dr. Emil Haselhoff, Vorsteher der landwirtschaftlichen Versuchsstation in Marburg i. H. Nr. 470.

Das agrikulturchemische Kontrollwesen v. Dr. Paul Krische in Göttingen. Nr. 304.

Physiologische Chemie von Dr. med. A. Legahn in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.

— II: Dissimilation. Mit einer Tafel. Nr. 241.

Meteorologie von Dr. W. Trabert, Prof. an der Universität Innsbruck. Mit 49 Abbildungen und 7 Tafeln. Nr. 54.

Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht von Dr. A. Nippoldt jr., Mitglied d. Kgl. Preuß. Meteorol. Instituts zu Potsdam. Mit 14 Abb. u. 3 Taf. Nr. 175.

Astronomie. Größe, Bewegung und Entfernung der Himmelskörper von A. F. Möbius, neu bearbeitet von Prof. Dr. Herm. Kobold in Kiel. I. Teil: Das Planetensystem. Mit 33 Figuren. Nr. 11.

Astrophysik. Die Beschaffenheit der Himmelskörper von Prof. Dr. Walter F. Wislicenus. Neu bearb. v. Dr. H. Ludendorff, Potsdam. Mit 15 Abb. Nr. 91.

Astronomische Geographie von Dr. Siegm. Günther, Prof. an der Techn. Hochschule in München. Mit 52 Abbildungen. Nr. 92.

Physische Geographie von Dr. Siegm. Günther, Prof. an der Königl. Techn. Hochschule in München. Mit 32 Abbildungen. Nr. 26

Physische Meereskunde von Prof. Dr. Gerhard Schott. Abteilungsvorsteher an der Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 39 Abbildungen im Text und 8 Tafeln. Nr. 112.

Klimakunde I: Allgemeine Klimalehre von Prof. Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Taf. u. 2 Fig. Nr. 114.

Paläoklimatologie von Dr. Wilh. R. Eckardt in Aachen. Nr. 482.

☞ **Weitere Bände sind in Vorbereitung.**

Digitized by Google

Bibliothek zur Physik.

Geschichte der Physik von A. Kistner, Professor an der Großh. Realschule zu Sinsheim a. E. I: Die Physik bis Newton. Mit 18 Fig. Nr. 293.
— II: Die Physik von Newton bis zur Gegenwart. Mit 18 Figuren. Nr. 294.
Theoretische Physik von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Technischen Hochschule in Wien. I: Mechanik und Akustik. Mit 19 Abbildungen. Nr. 76.
— II: Licht und Wärme. Mit 47 Abbildungen. Nr. 77.
— III: Elektrizität und Magnetismus. Mit 88 Abbildungen. Nr. 78.
— IV: Elektromagnetische Lichttheorie und Elektronik. Mit 21 Figuren. Nr. 374.
Radioaktivität von Wilh. Frommel. Mit 18 Figuren. Nr. 317.
Physikalische Messungsmethoden von Dr. Wilhelm Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 49 Figuren. Nr. 301.
Physikalische Aufgabensammlung von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Mit den Resultaten. Nr. 243.
Physikalische Formelsammlung von G. Mahler, Professor am Gymnasium in Ulm. Nr. 136.
Physikalisch-Chemische Rechenaufgaben von Prof. Dr. R. Abegg und Privatdozent Dr. O. Sackur, beide an der Universität Breslau. Nr. 445.
Vektoranalysis von Dr. Siegfr. Valentiner, Privatdozent für Physik an der Universität Berlin. Mit 11 Figuren. Nr. 354.

☞ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Bibliothek zur Chemie.

Geschichte der Chemie von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Stuttgart. I: Von den ältesten Zeiten bis zur Verbrennungstheorie von Lavoisier. Nr. 264.
— II: Von Lavoisier bis zur Gegenwart. Nr. 265.
Anorganische Chemie von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 87.
Metalloide (Anorganische Chemie I) von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 211.
Metalle (Anorganische Chemie II) von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Baugewerkschule in Stuttgart. Nr. 212.
Organische Chemie von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 88.
Chemie der Kohlenstoffverbindungen von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I, II: Aliphatische Verbindungen. 2 Teile. Nr. 191, 192.
— III: Karbocyklische Verbindungen. Nr. 193.
— IV: Heterocyklische Verbindungen. Nr. 194.
Analytische Chemie von Dr. Joh. Hoppe. I: Theorie u. Gang d. Analyse. Nr. 247.
— II: Reaktion der Metalloide und Metalle. Nr. 248.
Maßanalyse von Dr. Otto Röhm in Stuttgart. Mit 14 Fig. Nr. 221.
Technisch-Chemische Analyse von Dr. G. Lunge, Professor an der Eidgenöss. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbildungen. Nr. 195.
Stereochemie von Dr. E. Wedekind, Professor an der Universität Tübingen. Mit 34 Abbildungen. Nr. 201.
Allgemeine und physikalische Chemie von Dr. Max Rudolphi, Professor an der Technischen Hochschule in Darmstadt. Mit 22 Fig. Nr. 71.

Digitized by Google

Elektrochemie von Dr. Heinrich Danneel in Friedrichshagen. I. Teil: Theoretische Elektrochemie u. ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. Mit 18 Fig. Nr. 252.
— II: Experimentelle Elektrochemie, Meßmethoden, Leitfähigkeit, Lösungen. Mit 26 Figuren. Nr. 253.
Toxikologische Chemie von Privatdozent Dr. E. Mannheim in Bonn. Mit 6 Abbildungen. Nr. 485.
Agrikulturchemie I: Pflanzenernährung von Dr. Karl Grauer. Nr. 229.
Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden von Prof. Dr. Emil Haselhoff, Vorsteher der landwirtschaftl. Versuchsstation in Marburg i. H. Nr. 470.
Das agrikulturchemische Kontrollwesen v. Dr. Paul Krische in Göttingen. Nr. 304.
Physiologische Chemie von Dr. med. A. Legahn in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.
— II: Dissimilation. Mit 1 Tafel. Nr. 241.
Stöchiometrische Aufgabensammlung von Dr. Wilhelm Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit den Resultaten. Nr. 452.
Physikalisch-Chemische Rechenaufgaben von Prof. Dr. R. Abegg und Privatdozent Dr. O. Sackur, beide an der Universität Breslau. Nr. 445.

☞ Siehe auch „Technologie". Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Bibliothek zur Technologie.

Chemische Technologie.

Allgemeine chemische Technologie v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 118.
Die Fette und Öle sowie die Seifen- und Kerzenfabrikation und die **Harze, Lacke, Firnisse** mit ihren wichtigsten Hilfsstoffen von Dr. Karl Braun. I: Einführung i. d. Chemie, Besprechung einig. Salze u. d. Fette u. Öle. Nr. 235.
— II: Die Seifenfabrikation, die Seifenanalyse und die Kerzenfabrikation. Mit 25 Abbildungen. Nr. 236.
— III: Harze, Lacke, Firnisse. Nr. 237.
Ätherische Öle und Riechstoffe von Dr. F. Rochussen in Miltitz. Mit 9 Abbildungen. Nr. 446.
Die Explosivstoffe. Einführung in die Chemie der explosiven Vorgänge von Dr. H. Brunswig in Neubabelsberg. Mit 16 Abbildungen. Nr. 338.
Zündwaren von Dr. Alfons Bujard, Direktor des Städt. Chemisch. Laboratoriums in Stuttgart. Nr. 109.
Brauereiwesen I: Mälzerei von Dr. Paul Dreverhoff, Direktor der Brauer- und Mälzerschule in Grimma. Mit 16 Abbildungen. Nr. 308.
Das Wasser und seine Verwendung in Industrie und Gewerbe von Dipl.-Ing. Dr. Ernst Leher. Mit 15 Abbildungen. Nr. 261.
Wasser und Abwässer. Ihre Zusammensetzung, Beurteilung und Untersuchung von Prof. Dr. Emil Haselhoff, Vorsteher der landwirtschaftlichen Versuchsstation in Marburg in Hessen. Nr. 473.
Anorganische chemische Industrie von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. I: Die Leblancsodaindustrie und ihre Nebenzweige. Mit 12 Tafeln. Nr. 205.
— II: Salinenwesen, Kalisalze, Düngerindustrie und Verwandtes. Mit 6 Tafeln. Nr. 206.
— III: Anorganische Chemische Präparate. Mit 6 Tafeln. Nr. 207.

Digitized by Google

Metallurgie von Dr. Aug. Geitz in München. 2 Bde. Mit 21 Fig. Nr. 813, 814.

Die Industrie der Silikate, der künstlichen Bausteine und des Mörtels von Dr. Gustav Rauter. I: Glas- und keramische Industrie. Mit 12 Taf. Nr. 233.

— II: Die Industrie der künstlichen Bausteine und des Mörtels. Mit 12 Taf. Nr. 234.

Die Teerfarbstoffe mit besonderer Berücksichtigung der synthetischen Methoden von Dr. Hans Bucherer, Prof. a. d. Kgl. Techn. Hochschule Dresden. Nr. 214.

Mechanische Technologie.

Mechanische Technologie von Geh. Hofrat Prof. A. Lüdicke in Braunschweig. Nr. 340, 341.

Textil-Industrie I: Spinnerei und Zwirnerei von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Königl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 39 Fig. Nr. 184.

— II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Geh. Regierungsrat im Königl. Landesgewerbeamt zu Berlin. Mit 29 Figuren. Nr. 185.

Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Dr. Wilh. Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule für Textil-Industrie in Krefeld. Mit 28 Figuren. Nr. 186.

Die Materialien des Maschinenbaues und der Elektrotechnik von Ingenieur Prof. Herm. Wilda in Bremen. Mit 3 Abbildungen. Nr. 476.

Das Holz. Aufbau, Eigenschaften und Verwendung, von Prof. Herm. Wilda in Bremen. Mit 33 Abbildungen. Nr. 459.

Das autogene Schweiß- und Schneidverfahren von Ingenieur Hans Niese in Kiel. Mit 19 Figuren. Nr. 499.

☞ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Bibliothek zu den Ingenieurwissenschaften.

Das Rechnen in der Technik u. seine Hilfsmittel (Rechenschieber, Rechentafeln, Rechenmaschinen usw.) von Ingenieur Joh. Eugen Mayer in Karlsruhe i. B. Mit 30 Abb. Nr. 405.

Materialprüfungswesen. Einführung in die moderne Technik der Materialprüfung von K. Memmler, Diplom-Ingenieur, ständ. Mitarbeiter am Kgl. Materialprüfungsamte zu Groß-Lichterfelde. I: Materialeigenschaften. — Festigkeitsversuche. — Hilfsmittel für Festigkeitsversuche. Mit 58 Figuren. Nr. 311.

— II: Metallprüfung und Prüfung von Hilfsmaterialien des Maschinenbaues. — Baumaterialprüfung. — Papierprüfung. — Schmiermittelprüfung. — Einiges über Metallographie. Mit 31 Figuren. Nr. 312.

Metallographie. Kurze, gemeinfaßliche Darstellung der Lehre von den Metallen und ihren Legierungen, unter besonderer Berücksichtigung der Metallmikroskopie von Prof. E. Heyn und Prof. O. Bauer am Kgl. Materialprüfungsamt (Groß-Lichterfelde) der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin. I: Allgemeiner Teil. Mit 45 Abbildungen im Text und 5 Lichtbildern auf 3 Tafeln. Nr. 432.

— II: Spezieller Teil. Mit 49 Abbildungen im Text und 37 Lichtbildern auf 19 Tafeln. Nr. 433.

Statik. I: Die Grundlehren der Statik starrer Körper von W. Hauber, Diplom-Ingenieur. Mit 82 Figuren. Nr. 178.

— II: Angewandte Statik. Mit 61 Figuren. Nr. 179.

Festigkeitslehre von W. Hauber, Diplom-Ingenieur. Mit 56 Figuren. Nr. 288.

Aufgabensammlung zur Festigkeitslehre mit Lösungen von Diplom-Ingenieur R. Haren in Mannheim. Mit 42 Figuren. Nr. 490.

Digitized by Google

Hydraulik v. W. Hauber, Diplom-Ingenieur in Stuttgart. Mit 44 Fig. Nr. 397.

Geometrisches Zeichnen von H. Becker, Architekt und Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neubearbeitet von Professor J. Vonderlinn in Münster. Mit 290 Figuren und 23 Tafeln im Text. Nr. 56.

Schattenkonstruktionen von Prof. J. Vonderlinn in Münster. Mit 114 Fig. Nr. 236.

Parallelperspektive. Rechtwinklige und schiefwinklige Axonometrie von Prof. J. Vonderlinn in Münster. Mit 121 Figuren. Nr. 260.

Zentral-Perspektive von Architekt Hans Freyberger, neu bearbeitet von Prof. J. Vonderlinn, Dir. d. Kgl. Baugewerkschule, Münster i. W. Mit 182 Fig. Nr. 57.

Technisches Wörterbuch, enthaltend die wichtigsten Ausdrücke des Maschinenbaues, Schiffbaues und der Elektrotechnik von Erich Krebs in Berlin.

I. Teil: Deutsch-Englisch. Nr. 395.

— II. Teil: Englisch-Deutsch. Nr. 396.

— III. Teil: Deutsch-Französisch. Nr. 453.

— IV. Teil: Französisch-Deutsch. Nr. 454.

Vermessungskunde von Dipl.-Ing. Oberlehrer P. Werkmeister. 2 Bändchen. Mit 255 Abbildungen. Nr. 468, 469.

Maurer- u. Steinhauerarbeiten von Prof. Dr. phil. u. Dr.-Ing. Eduard Schmitt in Darmstadt. 3 Bändchen. Mit vielen Abbildungen. Nr. 419—421.

Zimmerarbeiten von Carl Opitz, Oberlehrer an der Kais. Techn. Schule in Straßburg i. E. 2 Bändchen. I: Allgemeines, Balkenlagen, Zwischendecken und Deckenbildungen, hölzerne Fußböden, Fachwerkswände, Hänge- und Sprengewerke. Mit 169 Abbildungen. Nr. 489.

— II: Dächer, Wandbekleidungen, Simsschalungen, Block-, Bohlen- und Bretterwände, Zäune, Türen, Tore, Tribünen und Baugerüste. Mit 167 Abbildungen. Nr. 490.

Eisenkonstruktionen im Hochbau. Kurzgefaßtes Handbuch mit Beispielen von Ingenieur Karl Schindler in Meißen. Mit 115 Figuren. Nr. 322.

Der Eisenbetonbau von Reg.-Baumeister Karl Rößle in Berlin-Steglitz. Mit 77 Abbildungen. Nr. 349.

Heizung und Lüftung von Ingenieur Johannes Körting, Direktor der Akt.-Ges. Gebrüder Körting in Düsseldorf. I: Das Wesen und die Berechnung der Heizungs- und Lüftungsanlagen. Mit 84 Figuren. Nr. 342.

— II: Die Ausführung der Heizungs- und Lüftungsanlagen. Mit 191 Fig. Nr. 343.

Gas- und Wasserinstallationen mit Einschluß der Abortanlagen von Professor Dr. phil. u. Dr.-Ing. Eduard Schmitt in Darmstadt. Mit 119 Abbild. Nr. 413.

Das Veranschlagen im Hochbau. Kurzgefaßtes Handbuch über das Wesen des Kostenanschlages von Emil Beutinger, Architekt B. D. A., Assistent an der Technischen Hochschule in Darmstadt. Mit vielen Figuren. Nr. 385.

Bauführung. Kurzgefaßtes Handbuch über das Wesen der Bauführung von Architekt Emil Beutinger, Assistent an der Technischen Hochschule in Darmstadt. Mit 25 Figuren und 11 Tabellen. Nr. 399.

Öffentliche Bade- und Schwimmanstalten von Dr. Karl Wolff, Stadt-Oberbaurat in Hannover. Mit 50 Fig. Nr. 380.

Die Baukunst des Schulhauses von Prof. Dr.-Ing. Ernst Vetterlein in Darmstadt. I: Das Schulhaus. Mit 88 Abbildungen. Nr. 443.

— II: Die Schulräume. — Die Nebenanlagen. Mit 31 Abbildungen. Nr. 444.

Eisenbahnfahrzeuge von H. Hinnenthal, Kgl. Regierungsbaumeister an der Eisenbahn-Direktion Mainz. I: Die Lokomotive. Mit 89 Figuren im Text und 2 Tafeln. Nr. 107.

— II: Die Eisenbahnwagen und Bremsen. Mit Anhang: Die Eisenbahnfahrzeuge im Betrieb. Mit 56 Figuren im Text u. 3 Tafeln. Nr. 108.

Die Maschinenelemente. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. Mit 86 Figuren. Nr. 8.

Eisenhüttenkunde von A. Krauß, diplomierter Hütteningenieur. I: Das Roheisen. Mit 17 Figuren und 4 Tafeln. Nr. 152.

— II: Das Schmiedeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.

Technische Wärmelehre (Thermodynamik) von K. Walther und M. Röttinger, Diplom-Ingenieuren. Mit 54 Figuren. Nr. 242.

Die thermodynamischen Grundlagen der Wärmekraft- und Kältemaschinen von M. Röttinger, Diplom-Ingenieur in München-Schwabing. Mit 73 Figuren. Nr. 2.

Die Kalkulation im Maschinenbau von Ingenieur H. Bethmann, Dozent am Technikum Altenburg. Mit 61 Abbildungen. Nr. 486.

Die Dampfmaschine. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. d. prakt. Gebrauch v. Friedr. Barth, Obering., Nürnberg. Mit 48 Fig. Nr. 8.

Die Dampfkessel. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. den prakt. Gebrauch v. Friedr. Barth, Obering., Nürnberg. Mit 67 Fig. Nr. 9.

Die Gaskraftmaschinen. Kurzgefaßte Darstellung der wichtigsten Gasmaschinen-Bauarten v. Ingenieur Alfred Kirschke in Halle a. S. Mit 55 Figuren. Nr. 316.

Die Dampfturbinen, ihre Wirkungsweise und Konstruktion von Ing. Hermann Wilda, Professor am staatl. Technikum in Bremen. Mit 104 Abb. Nr. 274.

Die zweckmäßigste Betriebskraft von Friedrich Barth, Oberingenieur in Nürnberg. I: Einleitung. Dampfkraftanlagen. Verschiedene Kraftmaschinen. Mit 27 Abbildungen. Nr. 224.

— II: Gas-, Wasser- und Wind-Kraftanlagen. Mit 31 Abbildungen. Nr. 225.

— III: Elektromotoren. Betriebskostentabellen. Graphische Darstellungen. Wahl der Betriebskraft. Mit 27 Abbildungen. Nr. 474.

Die Hebezeuge, ihre Konstruktion und Berechnung von Ingenieur Hermann Wilda, Prof. am staatl. Technikum in Bremen. Mit 399 Abbildungen. Nr. 414.

Pumpen, hydraulische und pneumatische Anlagen. Ein kurzer Überblick von Regierungsbaumeister Rudolf Vogdt, Oberlehrer an der Königl. höheren Maschinenbauschule in Posen. Mit 59 Abbildungen. Nr. 290.

Die landwirtschaftlichen Maschinen von Karl Walther, Diplom-Ingenieur in Mannheim. 3 Bändchen. Mit vielen Abbildungen. Nr. 407—409.

Die Preßluftwerkzeuge von Oberlehrer Diplom-Ingenieur Paul Ittis in Straßburg i. E. Mit 82 Figuren. Nr. 498.

Nautik. Kurzer Abriß des täglich an Bord von Handelsschiffen angewandten Teils der Schiffahrtskunde. Von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigationsschule zu Lübeck. Mit 56 Abbildungen. Nr. 84.

Lötrohrprobierkunde. Qualitative Analyse mit Hilfe des Lötrohres von Dr. Martin Henglein in Freiberg i. Sa. Nr. 483.

Elektrotechnik. Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik von J. Herrmann, Professor an der Königlich Technischen Hochschule Stuttgart. I: Die physikalischen Grundlagen. Mit 42 Fig. u. 10 Tafeln. Nr. 196.

— II: Die Gleichstromtechnik. Mit 108 Figuren und 16 Tafeln. Nr. 197.

— III: Die Wechselstromtechnik. Mit 126 Fig. u. 16 Taf. Nr. 198.

Die Gleichstrommaschine von C. Kinzbrunner, Ingenieur u. Dozent für Elektrotechnik a. d. Municipal School of Technology in Manchester. Mit 78 Fig. Nr. 257.

Ströme und Spannungen in Starkstromnetzen von Diplom-Elektroingenieur Josef Herzog in Budapest u. Prof. Feldmann in Delft. Mit 68 Fig. Nr. 456.

Das Fernsprechwesen v. Dr. Ludw. Rellstab in Berlin. Mit 47 Fig. u. 1 Taf. Nr. 155.

Digitized by Google

Die elektrische Telegraphie von Dr. Ludwig Rellstab. Mit 19 Figuren. Nr. 172.

Die elektrischen Meßinstrumente. Darstellung der Wirkungsweise der gebräuchlichsten Meßinstrumente der Elektrotechnik und kurze Beschreibung ihres Aufbaues von J. Herrmann, Prof. an der Königl. Techn. Hochschule Stuttgart. Mit 195 Fig. Nr. 477.

☛ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Bibliothek zu den Rechts- u. Staatswissenschaften.

Allgemeine Rechtslehre von Dr. Th. Sternberg, Privatdozent an der Univers. Lausanne. I: Die Methode. Nr. 169.

— II: Das System. Nr. 170.

Recht des Bürgerlichen Gesetzbuches. Erstes Buch: Allgemeiner Teil. I: Einleitung — Lehre von den Personen und von den Sachen von Dr. Paul Oertmann, Professor an der Universität Erlangen. Nr. 447.

— — II: Erwerb und Verlust, Geltendmachung und Schutz der Rechte von Dr. Paul Oertmann, Professor an der Universität Erlangen. Nr. 448.

— **Zweites Buch:** Schuldrecht. I. Abteilung: Allgemeine Lehren von Dr. Paul Oertmann, Professor an der Universität Erlangen. Nr. 323.

— — II. Abteilung: Die einzelnen Schuldverhältnisse von Dr. Paul Oertmann, Professor an der Universität Erlangen. Nr. 324.

— **Drittes Buch:** Sachenrecht von Dr. F. Kretzschmar, Oberlandesgerichtsrat in Dresden. I: Allgemeine Lehren. Besitz und Eigentum. Nr. 480.

— — II: Begrenzte Rechte. Nr. 481.

— **Viertes Buch:** Familienrecht von Dr. Heinrich Titze, Professor an der Univ. Göttingen. Nr. 305.

Deutsches Zivilprozeßrecht von Professor Dr. Wilhelm Kisch in Straßburg i. E. 3 Bände. Nr. 428—430.

Deutsches Handelsrecht von Prof. Dr. Karl Lehmann in Rostock. 2 Bändchen. Nr. 457, 458.

Das deutsche Seerecht von Dr. Otto Brandis, Oberlandesgerichtsrat in Hamburg. 2 Bände. Nr. 386, 387.

Postrecht von Dr. Alfred Wolcke, Postinspektor in Bonn. Nr. 435.

Allgemeine Staatslehre von Dr. Hermann Rehm, Prof. an der Universität Straßburg i. E. Nr. 358.

Allgemeines Staatsrecht von Dr. Julius Hatschek, Prof. der Rechte an der Kgl. Akademie in Posen. 3 Bändchen. Nr. 415—417.

Preußisches Staatsrecht von Dr. Fritz Stier-Somlo, Prof. an der Univers. Bonn. 2 Teile. Nr. 298, 299.

Kirchenrecht von Dr. Emil Sehling, ord. Prof. der Rechte in Erlangen. Nr. 377.

Das deutsche Urheberrecht an literarischen, künstlerischen und gewerblichen Schöpfungen, mit besonderer Berücksichtigung der internationalen Verträge von Dr. Gustav Rauter, Patentanwalt in Charlottenburg. Nr. 363.

Der internationale gewerbliche Rechtsschutz von J. Neuberg, Kaiserl. Regierungsrat, Mitglied des Kaiserl. Patentamts zu Berlin. Nr. 271.

Das Urheberrecht an Werken der Literatur und der Tonkunst, das Verlagsrecht und das Urheberrecht an Werken der bildenden Künste und der Photographie von Staatsanwalt Dr. J. Schlittgen in Chemnitz. Nr. 361.

Das Warenzeichenrecht. Nach dem Gesetz zum Schutz der Warenbezeichnungen vom 12. Mai 1894 von J. Neuberg, Kaiserl. Regierungsrat, Mitglied des Kaiserl. Patentamtes zu Berlin. Nr. 360.

Digitized by Google

Der unlautere Wettbewerb von Rechtsanwalt Dr. Martin Wassermann in Hamburg. Nr. 339.

Deutsches Kolonialrecht von Dr. H. Edler v. Hoffmann, Professor an der Kgl. Akademie Posen. Nr. 318.

Militärstrafrecht von Dr. Max Ernst Mayer, Prof. an der Universität Straßburg i. E. 2 Bände. Nr. 371, 372.

Deutsche Wehrverfassung von Kriegsgerichtsrat Carl Endres i. Würzburg. Nr. 401.

Forensische Psychiatrie von Prof. Dr. W. Weygandt, Direktor der Irrenanstalt Friedrichsberg in Hamburg. 2 Bändchen. Nr. 410 u. 411.

☞ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Volkswirtschaftliche Bibliothek.

Volkswirtschaftslehre von Dr. Carl Johs. Fuchs, Professor an der Universität Tübingen. Nr. 133.

Volkswirtschaftspolitik von Präsident Dr. R. van der Borght in Berlin. Nr. 177.

Gewerbewesen von Dr. Werner Sombart, Professor an der Handelshochschule Berlin. 2 Bände. Nr. 203, 204.

Das Handelswesen von Dr. Wilh. Lexis, Professor an der Universität Göttingen. I: Das Handelspersonal und der Warenhandel. Nr. 296.

— II. Die Effektenbörse und die innere Handelspolitik. Nr. 297.

Auswärtige Handelspolitik von Dr. Heinrich Sieveking, Professor an der Universität Zürich. Nr. 345.

Das Versicherungswesen von Dr. jur. Paul Moldenhauer, Dozent der Versicherungswissenschaft an der Handelshochschule Köln. Nr. 262.

Die gewerbliche Arbeiterfrage von Dr. Werner Sombart, Professor an der Handelshochschule Berlin. Nr. 209.

Die Arbeiterversicherung von Professor Dr. Alfred Manes in Berlin. Nr. 267.

Finanzwissenschaft von Präsident Dr. R. van der Borght in Berlin. I. Allgemeiner Teil. Nr. 148.

— II. Besonderer Teil (Steuerlehre). Nr. 391.

Die Steuersysteme des Auslandes von Geh. Oberfinanzrat O. Schwarz in Berlin. Nr. 426.

Die Entwicklung der Reichsfinanzen von Präsident Dr. R. van der Borght in Berlin. Nr. 427.

Die Finanzsysteme der Großmächte. (Internat. Staats- u. Gemeinde-Finanzwesen.) Von O. Schwarz, Geh. Oberfinanzrat, Berlin. 2 Bdch. Nr. 450, 451.

Soziologie von Prof. Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 101.

Die Entwicklung der sozialen Frage von Prof. Dr. Ferd. Tönnies in Kiel. Nr. 353.

Die Wohnungsfrage von Dr. L. Pohle, Professor der Staatswissenschaften zu Frankfurt a. M. I: Das Wohnungswesen in der modernen Stadt. Nr. 495.

— II: Die städtische Wohnungs- und Bodenpolitik. Nr. 496.

Armenwesen und Armenfürsorge. Einführung in die soziale Hilfsarbeit von Dr. Adolf Weber, Professor an der Handelshochschule in Köln. Nr. 346.

Das Genossenschaftswesen in Deutschland. Von Dr. Otto Lindecke, Sekretär des Hauptverbandes deutscher gewerblicher Genossenschaften. Nr. 384.

☞ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Digitized by Google

Theologische und religionswissenschaftliche Bibliothek.

Die Entstehung des Alten Testaments von Lic. Dr. W. Staerk, Professor an der Universität in Jena. Nr. 272.

Alttestamentliche Religionsgeschichte von D. Dr. Max Löhr, Professor an der Universität Breslau. Nr. 292.

Geschichte Israels bis auf die griechische Zeit von Lic. Dr. J. Benzinger. Nr. 231.

Landes- u. Volkskunde Palästinas von Lic. Dr. Gustav Hölscher in Halle. Mit 8 Vollbildern und 1 Karte. Nr. 345.

Die Entstehung d. Neuen Testaments v. Prf. Lic. Dr. Carl Clemen in Bonn. Nr. 285.

Die Entwicklung der christlichen Religion innerhalb des Neuen Testaments von Prof. Lic. Dr. Carl Clemen in Bonn. Nr. 388.

Neutestamentliche Zeitgeschichte von Lic. Dr. W. Staerk, Professor an der Universität in Jena. I: Der historische u. kulturgeschichtliche Hintergrund des Urchristentums. Nr. 325.

— II: Die Religion des Judentums im Zeitalter des Hellenismus und der Römerherrschaft. Nr. 326.

Die Entstehung des Talmuds von Dr. S. Funk in Boskowitz. Nr. 479.

Abriß der vergleichenden Religionswissenschaft von Prof. Dr. Th. Achelis in Bremen. Nr. 208.

Die Religionen der Naturvölker im Umriß von Dr. Th. Achelis, weiland Professor in Bremen. Nr. 449.

Jüdische Religionsgeschichte von Prof. Dr. Edmund Hardy. Nr. 83.

Buddha von Professor Dr. Edmund Hardy. Nr. 174.

Griechische und römische Mythologie von Dr. Hermann Steuding, Rektor des Gymnasiums in Schneeberg. Nr. 27.

Germanische Mythologie von Dr. E. Mogk, Prof. an der Univ. Leipzig. Nr. 15.

Die deutsche Heldensage von Dr. Otto Luitpold Jiriczek, Professor an der Universität Münster. Nr. 32.

☛ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Pädagogische Bibliothek.

Pädagogik im Grundriß von Professor Dr. W. Rein, Direktor des Pädagogischen Seminars an der Universität in Jena. Nr. 12.

Geschichte der Pädagogik von Oberlehrer Dr. H. Weimer in Wiesbaden. Nr. 145.

Schulpraxis. Methodik der Volksschule von Dr. R. Seyfert, Seminardirektor in Zschopau. Nr. 50.

Zeichenschule von Professor K. Kimmich in Ulm. Mit 18 Tafeln in Ton-, Farben- u. Golddruck u. 200 Voll- u. Textbildern. Nr. 89.

Bewegungsspiele von Dr. E. Kohlrausch, Prof. am Kgl. Kaiser-Wilhelms-Gymnasium zu Hannover. Mit 14 Abbildungen. Nr. 96.

Geschichte des deutschen Unterrichtswesens von Professor Dr. Friedrich Seiler, Direktor des Königlichen Gymnasiums zu Luckau. I: Von Anfang an bis zum Ende des 18. Jahrhunderts. Nr. 275.

— II: Vom Beginn des 19. Jahrhunderts bis auf die Gegenwart. Nr. 276.

Digitized by Google

Das deutsche Fortbildungsschulwesen nach seiner geschichtlichen Entwicklung und in seiner gegenwärtigen Gestalt von H. Siercks, Direktor der städt. Fortbildungsschulen in Heide i. Holstein. Nr. 392.

Die deutsche Schule im Auslande von Hans Amrhein, Direktor der deutschen Schule in Lüttich. Nr. 259.

☛ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Bibliothek zur Kunst.

Stilkunde von Prof. Karl Otto Hartmann in Stuttgart. Mit 7 Vollbildern und 195 Textillustrationen. Nr. 80.

Die Baukunst des Abendlandes von Dr. K. Schäfer, Assistent am Gewerbemuseum in Bremen. Mit 22 Abbildungen. Nr. 74.

Die Plastik des Abendlandes von Dr. Hans Stegmann, Direktor des Bayr. Nationalmuseums in München. Mit 23 Tafeln. Nr. 116.

Die Plastik seit Beginn des 19. Jahrhunderts von A. Heilmeyer in München. Mit 41 Vollbildern auf amerikanischem Kunstdruckpapier. Nr. 321.

Die graphischen Künste v. Carl Kampmann, k. k. Lehrer an der k. k. Graphischen Lehr- u. Versuchsanstalt in Wien. Mit zahlreichen Abbild. u. Beilagen. Nr. 75.

Die Photographie von H. Keßler, Prof. an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 4 Tafeln und 52 Abbildungen. Nr. 94.

☛ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Bibliothek zur Musik.

Allgemeine Musiklehre von Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 220.

Musikalische Akustik von Dr. Karl L. Schäfer, Dozent an der Universität Berlin. Mit 85 Abbildungen. Nr. 21.

Harmonielehre von A. Halm. Mit vielen Notenbeilagen. Nr. 120.

Musikalische Formenlehre (Kompositionslehre) von Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149, 150.

Kontrapunkt. Die Lehre von der selbständigen Stimmführung von Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 390.

Fuge. Erläuterung und Anleitung zur Komposition derselben von Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 418.

Instrumentenlehre von Musikdirektor Franz Mayerhoff in Chemnitz. I: Text. II: Notenbeispiele. Nr. 437, 438.

Musikästhetik von Dr. K. Grunsky in Stuttgart. Nr. 344.

Geschichte der alten und mittelalterlichen Musik von Dr. A. Möhler. Mit zahlreichen Abbildungen und Musikbeilagen. I. II. Nr. 121, 347.

Musikgeschichte des 17. u. 18. Jahrhunderts v. Dr. K. Grunsky i. Stuttgart. Nr. 239.

— **seit Beginn des 19. Jahrhunderts** von Dr. K. Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 164, 165.

☛ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Digitized by Google

Bibliothek zur Land- und Forstwirtschaft.

Bodenkunde von Dr. P. Vageler in Königsberg i. Pr. Nr. 455.

Ackerbau- und Pflanzenbaulehre von Dr. Paul Rippert in Berlin und Ernst Langenbeck in Bochum. Nr. 282.

Landwirtschaftliche Betriebslehre von Ernst Langenbeck in Bochum. Nr. 227.

Allgemeine und spezielle Tierzuchtlehre von Dr. Paul Rippert in Berlin. Nr. 228.

Agrikulturchemie I: Pflanzenernährung von Dr. Karl Grauer. Nr. 329.

Das agrikulturchemische Kontrollwesen v. Dr. Paul Krische in Göttingen. Nr. 804.

Fischerei und Fischzucht von Dr. Karl Eckstein, Prof. an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 159.

Forstwissenschaft von Dr. Ad. Schwappach, Prof. an der Forstakadem. Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation d. forstlichen Versuchswesens. Nr. 106.

Die Nadelhölzer von Prof. Dr. F. W. Neger in Tharandt. Mit 85 Abbildungen, 5 Tabellen und 3 Karten. Nr. 355.

☞ Weitere Bände sind in Vorbereitung.

Handelswissenschaftliche Bibliothek.

Buchführung in einfachen und doppelten Posten von Prof. Robert Stern, Oberlehrer der Öffentlichen Handelslehranstalt und Dozent der Handelshochschule zu Leipzig. Mit Formularen. Nr. 115.

Deutsche Handelskorrespondenz von Prof. Th. de Beaux, Offizier de l'Instruction Publique, Oberlehrer a. D. an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Nr. 182.

Französische Handelskorrespondenz von Professor Th. de Beaux, Offizier de l'Instruction Publique, Oberlehrer a. D. an der Öffentlichen Handelslehranstalt und Lektor an der Handelshochschule zu Leipzig. Nr. 188.

Englische Handelskorrespondenz von E. E. Whitfield, M.-A., Oberlehrer am King Edward VII Grammar School in Kings Lynn. Nr. 237.

Italienische Handelskorrespondenz von Professor Alberto de Beaux, Oberlehrer am Königlichen Institut SS. Annunziata zu Florenz. Nr. 219.

Spanische Handelskorrespondenz v. Dr. Alfredo Nadal de Mariezcurrena. Nr. 295.

Russische Handelskorrespondenz von Dr. Th. v. Kawraysky in Leipzig. Nr. 315.

Kaufmännisches Rechnen von Prof. Richard Just, Oberlehrer an d. Öffentlichen Handelslehranstalt der Dresdener Kaufmannschaft. 3 Bde. Nr. 139, 140, 187.

Warenkunde von Dr. Karl Hassack, Professor an der Wiener Handelsakademie. I: Unorganische Waren. Mit 40 Abbildungen. Nr. 222.
— II: Organische Waren. Mit 36 Abbildungen. Nr. 223.

Drogenkunde von Rich. Dorstewitz in Leipzig und Georg Ottersbach in Hamburg. Nr. 413.

Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. Aug. Blind, Professor an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.

Technik des Bankwesens von Dr. Walter Conrad in Berlin. Nr. 484.

Das Wechselwesen von Rechtsanwalt Dr. Rudolf Mothes in Leipzig. Nr. 106.

☞ Weitere Bände sind in Vorbereitung. Siehe auch „Volkswirtschaftliche Bibliothek". Ein ausführliches Verzeichnis der außerdem im Verlage der G. J. Göschen'schen Verlagshandlung erschienenen handelswissenschaftlichen Werke kann durch jede Buchhandlung kostenfrei bezogen werden.

Digitized by Google

Militär- und marinewissenschaftliche Bibliothek.

Das moderne Feldgeschütz. I: Die Entwicklung des Feldgeschützes seit Einführung des gezogenen Infanteriegewehrs bis einschließlich der Erfindung des rauchlosen Pulvers, etwa 1850—1890, v. Oberstleutnant W. Heydenreich, Militärlehrer an der Militärtechn. Akademie in Berlin. Mit 1 Abbild. Nr. 306.

— II: Die Entwicklung des heutigen Feldgeschützes auf Grund der Erfindung des rauchlosen Pulvers, etwa 1890 bis zur Gegenwart, von Oberstleutnant W. Heydenreich, Militärlehrer an der Militärtechn. Akademie in Berlin. Mit 11 Abbildungen. Nr. 307.

Die modernen Geschütze der Fußartillerie. I: Vom Auftreten der gezogenen Geschütze bis zur Verwendung des rauchschwachen Pulvers 1850—1890 von Mummenhoff, Major beim Stabe des Fußartillerie-Regiments, Generalfeldzeugmeister (Brandenburgisches Nr. 3). Mit 50 Textbildern. Nr. 334.

— II: Die Entwicklung der heutigen Geschütze der Fußartillerie seit Einführung des rauchschwachen Pulvers 1890 bis zur Gegenwart. Mit 33 Textbildern. Nr. 362.

Die Entwicklung der Handfeuerwaffen seit der Mitte des 19. Jahrhunderts und ihr heutiger Stand von G. Wrzodek, Oberleutnant im Inf.-Regt. Freiherr Hiller von Gärtringen (4. Posensches) Nr. 59 und Assistent der Königl. Gewehrprüfungskommission. Mit 21 Abbildungen. Nr. 366.

Die Entwicklung des Kriegsschiffbaues vom Altertum bis zur Neuzeit. I. Teil: Das Zeitalter der Ruderschiffe und der Segelschiffe für die Kriegsführung zur See vom Altertum bis 1840. Von Ljard Schwarz, Geh. Marinebaurat u. Schiffbau-Direktor. Mit 32 Abbildungen. Nr. 471.

Geschichte des Kriegswesens. I: Das antike Kriegswesen von Dr. Emil Daniels in Berlin. Nr. 488.

— II: Das mittelalterliche Kriegswesen v. Dr. Emil Daniels in Berlin. Nr. 498.

Militärstrafrecht von Dr. Max Ernst Mayer, Prof. an der Universität Straßburg i. E. 2 Bände. Nr. 371, 372.

Deutsche Wehrverfassung von Karl Endres, Kriegsgerichtsrat bei dem Generalkommando des Kgl. bayr. II. Armeekorps in Würzburg. Nr. 401.

Die Seemacht in der deutschen Geschichte von Wirkl. Admiralitätsrat Dr. Ernst von Halle, Prof. an der Universität Berlin. Nr. 370.

Verschiedenes.

Bibliotheks- und Zeitungswesen.

Volksbibliotheken (Bücher- und Lesehallen), ihre Einrichtung und Verwaltung von Emil Jaeschke, Stadtbibliothekar in Elberfeld. Nr. 332.

Das deutsche Zeitungswesen v. Dr. Robert Brunhuber in Köln a. Rh. Nr. 400.

Das moderne Zeitungswesen (System der Zeitungslehre) von Dr. Robert Brunhuber in Köln a. Rh. Nr. 320.

Allgemeine Geschichte des Zeitungswesens von Dr. Ludwig Salomon in Jena. Nr. 351.

Digitized by Google

Hygiene, Medizin und Pharmazie.

Ernährung und Nahrungsmittel von Oberstabsarzt Prof. Dr. Bischoff in Berlin. Mit 4 Figuren. Nr. 464.

Bewegungsspiele von Dr. E. Kohlrausch, Prof. am Kgl. Kaiser-Wilhelms-Gymnasium zu Hannover. Mit 15 Abbildungen. Nr. 96.

Der menschliche Körper, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebm. Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. S Mit 47 Abbildungen und 1 Tafel. N

Die Infektionskrankheiten und ihre Verhütung von Stabsarzt Dr. W. mann in Berlin. Mit 12 vom Verfasser gezeichneten Abbildunge einer Fiebertafel. N

Tropenhygiene von Med.-Rat Prof. Dr. Nocht, Direktor des Institu Schiffs- u. Tropenkrankheiten in Hamburg. N

Die Hygiene des Städtebaus von H. Chr. Nußbaum, Prof. an der Hochschule in Hannover. Mit 30 Abbildungen. Nr.

Die Hygiene des Wohnungswesens von H. Chr. Nußbaum, Prof. Techn. Hochschule in Hannover. Mit 20 Abbildungen. N

Gewerbehygiene von Geh. Medizinalrat Dr. Roth in Potsdam. N

Pharmakognosie. Von Apotheker F. Schmitthenner, Assistent am Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe. N

Drogenkunde von Rich. Dorstewitz in Leipzig u. Georg Ottersbach in Ha N

Photographie.

Die Photographie. Von H. Keßler, Prof. an der k. k. Graphischen Lel Versuchsanstalt in Wien. Mit 4 Taf. und 52 Abbild.

Stenographie.

Stenographie nach dem System von F. X. Gabelsberger von P. Schramm, Landesamtsassessor in Dresden.

Die Redeschrift des Gabelsbergerschen Systems von Dr. Albert Landesamtsassessor in Dresden.

Lehrbuch der Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einig.-Syst Schrey) nebst Schlüssel, Lesestücken und einem Anhang von Studienrat des Kadettenkorps in Bensberg.

Redeschrift. Lehrbuch der Redeschrift des Systems Stolze-S Kürzungsbeispielen, Lesestücken, Schlüssel und einer Anleitun gerung der stenographischen Fertigkeit von Heinrich Dröse, Landtagsstenographen in Karlsruhe i. B. Nr. 494.

Geschichte der Stenographie von Dr. Arthur Mentz in Königsberg i. Pr. Nr. 501.

Weitere Bände dieser einzelnen Abteilungen sind in Vorbereitung.

Digitized by Google

Digitized by Google